Serie Difusión 12

Sistemas de orden del color

José Luis Caivano



ISSN 0328-2252

SECRETARÍA DE INVESTIGACIONES EN CIENCIA Y TÉCNICA
FACULTAD DE ARQUITECTURA, DISEÑO Y URBANISMO - UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES

Sistemas de orden del color

José Luis Caivano

Serie Difusión Nº 12

Sistemas de orden del color

José Luis Caivano

Clasificación Decimal Universal

535.6

ISSN 0328-2252

Propietario:
Secretaría de Investigaciones en Ciencia y Técnica
Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo
Universidad de Buenos Aires
Ciudad Universitaria, Pabellón 3, piso 4
1428 Buenos Aires, Argentina

Serie Difusión 12

Sistemas de orden del color

José Luis Caivano

Buenos Aires, 1995
Secretaría de Investigaciones en Ciencia y Técnica - Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo - UBA

Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo - UBA

Decana:
Carmen Córdova

Vicedecano:
Daniel Wolkowicz

Secretaría de Investigaciones en Ciencia y Técnica:

Secretario:
Roberto Doberti

Prosecretaria:
Margarita Gutman

Serie Difusión

Director:
Roberto Doberti

Editor:
José Luis Caivano

Diseño gráfico:
Germán Díaz Colodrero

La Serie Difusión, que se comenzó a publicar en 1993 por iniciativa de Odilia Suárez, tiene por objetivo principal dar a conocer en forma sintética el proceso y resultados de las investigaciones realizadas en el ámbito de la Secretaría de Investigaciones en Ciencia y Técnica de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo de la Universidad de Buenos Aires. Está dirigida a alumnos, docentes, becarios e investigadores, con el ánimo de aportar a la difusión del conocimiento adquirido en las tareas de investigación que se realizan en la FADU-UBA y alentar a su progresiva evolución.

Índice de contenidos

1. Qué es un sistema de color. Referencia histórica

Los signos visuales que denominamos colores se nos presentan en nuestra vida común con una variedad, riqueza y complejidad extraordinarias, ya sea en forma simultánea como cuando detenemos nuestra mirada en algo estático, por ejemplo un cuadro, o en una sucesión cambiante como cuando los objetos pasan delante de nuestra vista o cuando posamos sucesivamente la mirada en porciones diferentes de nuestro entorno. A diario nos enfrentamos con una enorme cantidad de colores diferentes.

Desde hace muchísimos años ha existido el deseo de ordenar siguiendo alguna lógica el vasto conjunto de colores que somos capaces de distinguir. Los intentos de organización del color se remontan a la antigüedad y se dan a lo largo de toda la historia humana. Entre quienes se han interesado por los aspectos teóricos, y en ciertos casos han propuesto algún sistema de ordenamiento del color, encontramos personajes como Aristóteles (i.384-322 AC), Alberti (1435), Leonardo da Vinci (i.1490-1516), Newton (1704) y Goethe (1808-1810). Ya en nuestro siglo, otros científicos y estudiosos como Ostwald (1917), Munsell (1905, 1921), Pope (1929, 1949), los argentinos Villalobos-Domínguez (1947), Gerritsen (1975), Küppers (1978), Nemcsics (1980), por solo mencionar algunos, se han destacado por haber formulado y construido sistemas de ordenamiento del color. Este objetivo ha sido perseguido también por organizaciones como la Commission Internationale de l'Eclairage, Optical Society of America, Swedish Standards Institution y otras.

Un sistema de ordenamiento del color intenta por lo general incluir todos los colores, al menos en forma teórica, en un modelo topológico, previendo una posición específica para cada uno de ellos y proponiendo alguna lógica que determine la organización total. Estos modelos han adoptado, según los distintos autores, las

más variadas formas: escalas lineales, círculos cromáticos, triángulos de color, sólidos de color. Dentro de este último tipo se han ofrecido diferentes soluciones: conos, pirámides, dobles conos, dobles pirámides, esferas y cuerpos más o menos irregulares.

La lógica organizativa suele darse a través de variables o parámetros de análisis del color. Así, por ejemplo, la longitud de onda de la radiación visible determina una escala lineal de colores espectrales que va desde el rojo, pasando por el naranja, amarillo, verde y azul, hasta el violeta. En los círculos cromáticos suele tomarse este ordenamiento uniendo los extremos violeta y rojo con el agregado del púrpura, que no aparece en el espectro, y formando una escala circular de tintes. Otras variables que suelen utilizarse para completar la definición específica de un color y para posibilitar el ordenamiento de las sensaciones de color en modelos tridimensionales son la cromaticidad o saturación y la luminosidad, claridad o valor de los colores. Paul Green-Armytage (1989) presenta esquemáticamente las tres dimensiones del color, comparando las formas que adopta la primera —el tinte o circuito cromático— en varios sistemas de orden de color y analizando luego, también en varios sistemas, las interrelaciones entre la segunda y la tercera dimensión.

En la mayoría de los sistemas existen ciertos puntos claves donde se ubican los colores que se consideran primarios o principales, en relación a otros considerados como secundarios, derivados o intermedios. Este tema de cuáles son los colores primarios y cuáles los secundarios suele prestarse a muchas confusiones. En realidad no existe un criterio único para definirlos, ello depende de con qué filosofía está construido cada sistema en particular, qué aspecto del color describe y organiza o en qué basa sus combinaciones —color-luz o color-pigmento, síntesis aditiva o mezcla sustractiva, estímulo o sensación de color— y a qué usos está destinado. Así, por ejemplo, para un sistema que organice el fenómeno del color desde el punto de vista del estímulo luminoso los primarios estarán dados por luces monocromáticas roja, verde y azul, y si uno le pregunta a un colorimetrista, a un iluminador o a un técnico en televisión, la respuesta será que esos son los colores primarios. Para los pintores, acostumbrados a trabajar con pigmentos y mediante mezclas sustractivas,

los primarios han sido tradicionalmente el amarillo, el rojo y el azul, mientras que los secundarios, obtenidos por mezcla de dos primarios, el naranja, el verde y el violeta. Para un sistema cuya utilidad esté dirigida a la industria gráfica los primarios serán el amarillo, el magenta y el cian. Para los sistemas que consideran al color como sensación psicológica, los primarios estarán dados por las nociones primigenias acerca del color que se encuentran en la base de casi todas las culturas, y entonces serán —organizados generalmente de a pares en polos de oposición— el rojo y el verde, el amarillo y el azul, el blanco y el negro.

2. Organizaciones lineales y esquemas bidimensionales

Las organizaciones de colores más antiguas suelen ser simplemente listados de nombres de color o escalas lineales —generalmente expresadas en forma verbal, sin representaciones gráficas que nos permitan inferir otro tipo de relaciones— o a lo sumo esquemas bidimensionales en forma de triángulos o círculos de color. Entre los primeros podemos mencionar los cinco colores de la filosofía china antigua (azul, rojo, amarillo, blanco y negro) relacionados con los cinco elementos (madera, fuego, tierra, metal y agua) y con las cinco localizaciones metafísicas (este, sur, centro, oeste y norte), según la reseña de Dong y Jin (1989), y la escala de Aristóteles, con blanco y negro en las puntas y una serie de colores cromáticos intermedios ordenados linealmente entre esos extremos de luz y oscuridad (i.384-322 BC: par. 442a). Un ordenamiento verbal de los colores, que puede ser reconstruido como un círculo o un cuadrado cromático e incluso como un doble cono, una doble pirámide o una esfera (Parkhust y Feller 1982: 226-227), se encuentra en el tratado de Leon Battista Alberti (1435: [1956: 49-50]).

2.1. El esquema de Leonardo da Vinci

Una buena parte del *Tratado de la pintura* de Leonardo da Vinci, recopilado después de su muerte a partir de sus apuntes manuscritos, está dedicada a las reflexiones acerca del color. Generalmente considera los aspectos perceptuales y la apariencia del color en las distintas situaciones —luz y sombra, cercanía o lejanía del observador respecto de los objetos, variación en la densidad del aire, en la posición de los objetos, etc.— en relación al trabajo del pintor, pero también establece algunos criterios básicos de clasificación, ordenamiento y combinación de colores (1490-1516 [1943: par. 209, 250, 251, 254]).

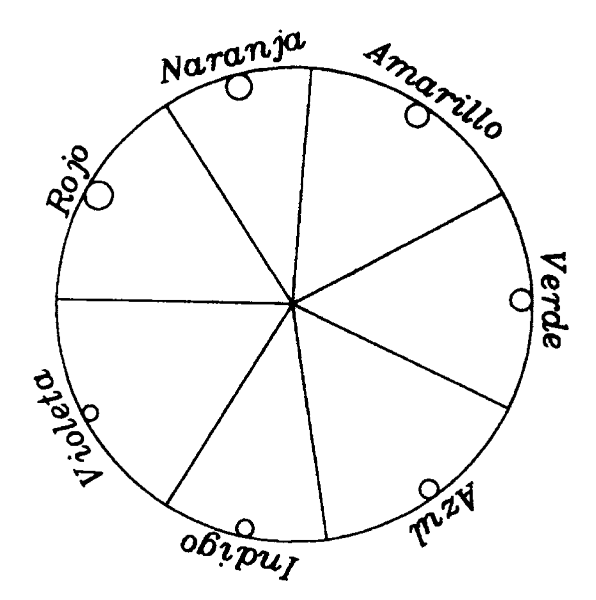
Leonardo reconoce seis colores simples: blanco, amarillo, verde, azul, rojo y negro, aclarando que "si bien algunos filósofos no aceptan ni el blanco ni el negro entre el número de los colores, puesto que uno es causa de los colores y el otro ausencia de ellos", él los incluye por considerar que en la pintura son sumamente importantes. Por colores simples entiende aquellos que pueden obtenerse sin mezcla, refiriéndose a lo que hoy conocemos como mezcla sustractiva, que es la manera en que se trabaja en pintura. Probablemente Leonardo se basara en los pigmentos que había disponibles en su época para hacer esta distinción, con cuyo criterio a veces incurre en contradicciones pues, en otros pasajes, también dice que el verde no es color simple ya que puede obtenerse por mezcla de amarillo y azul, lo cual es cierto desde el punto de vista de las leyes de mezcla sustractiva.

Para el ordenamiento de los colores propone un esquema sencillo basado en las oposiciones negro-blanco, azul-amarillo y verde-rojo. Si bien Leonardo no llega a plantear un verdadero sistema de orden de color tal como lo entendemos actualmente, en el sentido de poner en relación todos los colores en un modelo tridimensional, ya veremos como su criterio es básicamente el mismo con el cual se organiza uno de los sistemas de orden de color modernos, el sistema natural de colores NCS.

2.2. El círculo cromático de Newton

Newton diferenció siete colores en el espectro producido por la dispersión de la luz a través de un prisma, y los dispuso en el perímetro de un círculo dividido en siete porciones, cuyo centro está ocupado por la luz blanca (1704 [1952: 154-158]). En la Figura 1 se reproduce este círculo cromático. En el medio de cada arco de circunferencia se encuentra el color típico de la denominación y aparece además un pequeño círculo cuyo tamaño es proporcional a la "cantidad de rayos que forman ese color" (hoy diríamos a su longitud de onda).

Figura 1: Círculo cromático de Newton (1704).



2.3. El círculo cromático de Goethe

Si el de Newton es un círculo cromático de mezcla de luces, el de Goethe (1808-1810: par. 50) responde a la mezcla de pigmentos. Tres tintes primarios —rojo, amarillo y azul— aparecen en los vértices de un triángulo equilátero, contrapuesto

a otro triágulo equilátero con tres tintes secundarios —naranja, verde y púrpura— producto de la mezcla sustractiva de los anteriores (Figura 2). Esta misma organización la encontramos en el círculo cromático de Runge (1810), y luego en los de Pope (1949: 8-9; Pope et al. 1974: 14, 96-97) e Itten (1961 [1970: 29-31]).

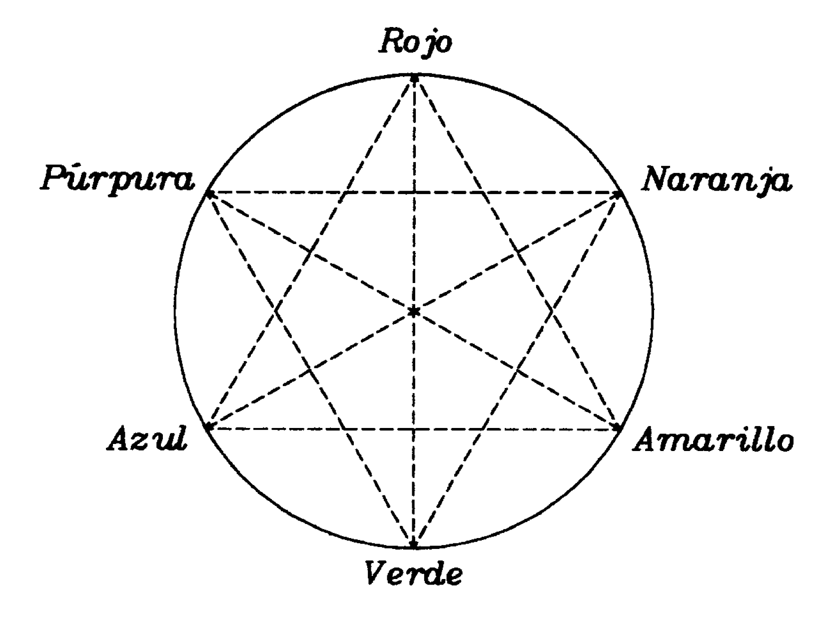


Figura 2: Círculo cromático de Goethe (1808).

3. Organizaciones tridimensionales

Si bien algunos estudiosos (Hesselgren 1984: 220; Tonnquist 1993: 354-355) ven en el diagrama de Aron Sigfrid Forsius, que aparece en un manuscrito de 1611, una organización tridimensional del color, otros, como Spillmann (1993: 61), lo consi-

deran como un esquema planar de relaciones de color (Figura 3). Recién en 1772 aparece el primer sólido de color expresamente desarrollado como tal por su autor, Johann Heinrich Lambert (Figura 4).

Figura 3: Esquema de orden del color de Forsius (1611).

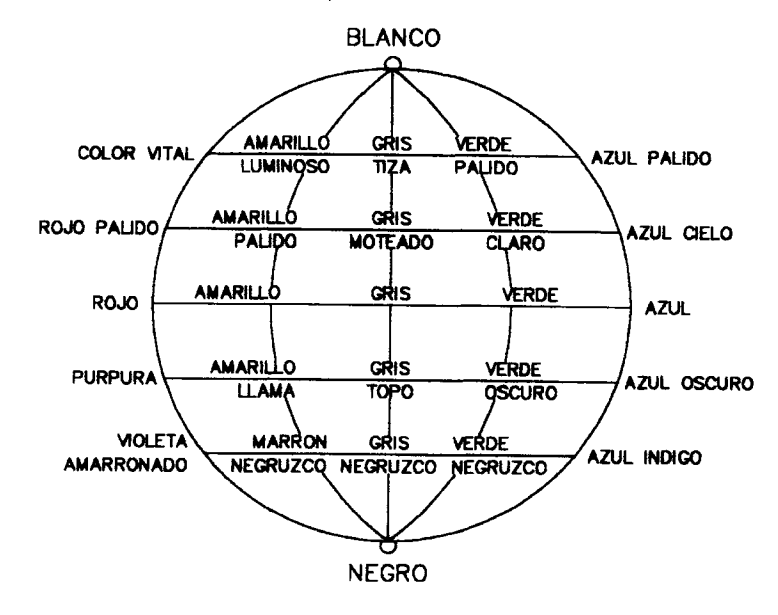
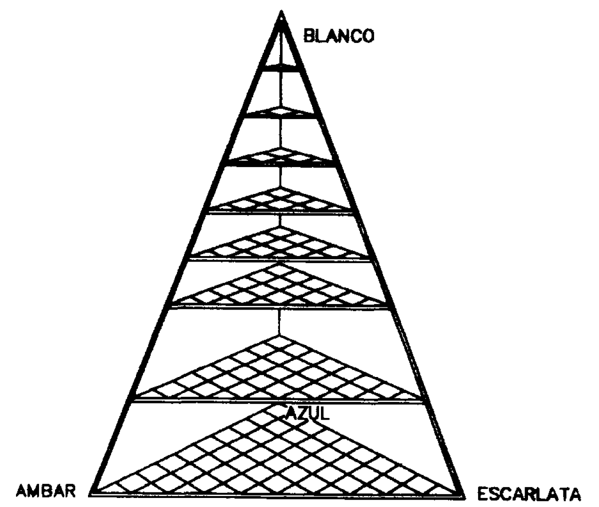


Figura 4: Pirámide del color de Lambert (1772).



Philipp Otto Runge es considerado como el antecesor de los sistemas de color del siglo xx. Como refiere Spillmann (1993), la esfera de color de Runge (Figura 5), publicada en 1810, es el resultado notable de un largo proceso evolutivo que comenzó en el Renacimiento italiano con las formulaciones de escalas de colores por parte de Alberti y Leonardo da Vinci. En la segunda mitad del siglo XVIII se dieron desde los círculos cromáticos hasta los primeros intentos de sistemas tridimensionales. Aunque Lambert construyó el primer sistema tridimensional con su pirámide de color, debemos notar que el suyo es un sistema de mezcla de colorantes que, por lo tanto, no incluye todas las posibles sensaciones de color. Runge, por el contrario, desarrolló un sistema de orden que comprende todas las sensaciones.

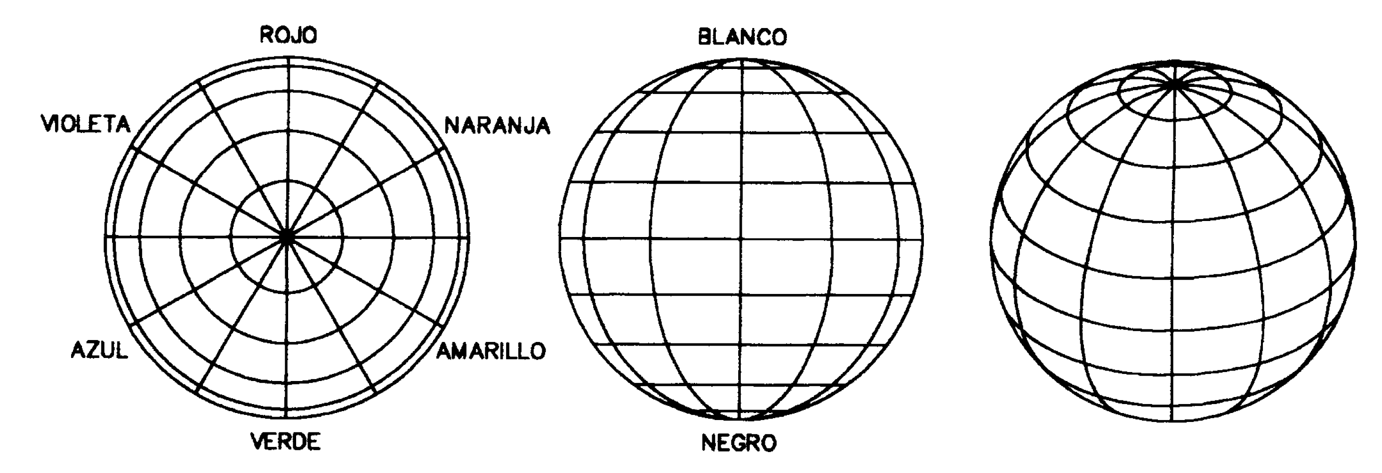


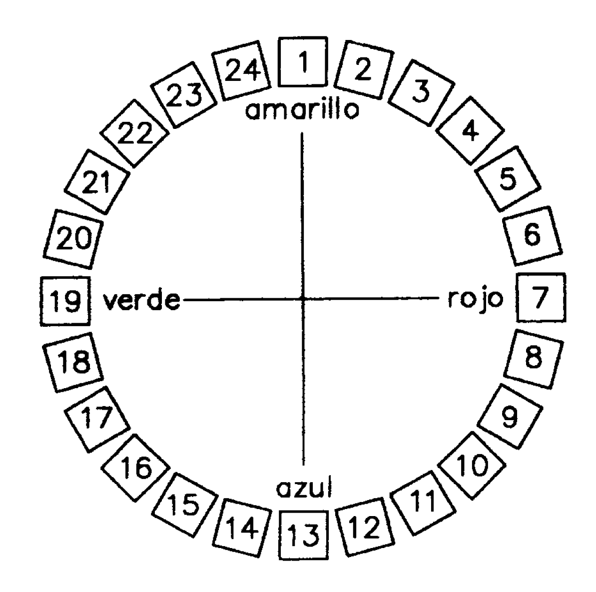
Figura 5: Esfera del color de Runge (1810).

3.1. El sistema de Ostwald

El sistema de Ostwald, una de las primeras organizaciones del color importantes del siglo xx, se desarrolla en función de las variables *contenido de tinte*, *contenido de blanco* y *contenido de negro*, que se refieren a la proporción de cada componente en la sensación de color percibida. Estas proporciones se pueden medir en términos de superficie ocupada por un tinte puro, blanco y negro puestos como sectores de un disco al que se hace girar a gran velocidad, generando por fusión óptica un color

homogéneo. El color así producido, o cualquiera que se vea igual a él, es identificado entonces por esos tres porcentajes.

Figura 6: Sistema Ostwald: esquema de ordenamiento del círculo cromático con la notación de los diferentes tintes.



Originalmente Ostwald previó un círculo cromático de 100 tintes pero luego adoptó uno reducido a 24 tintes, donde el amarillo es el número 1, encontrándose diametralmente opuesto al azul que posee el número 13, y el rojo lleva el número 7, ubicándose opuesto al verde que es el número 19 (Figura 6). Este círculo cromático, en cuyo borde tienen lugar los tintes en su máxima pureza obtenible, es atravesado por un eje que pasa por su centro y es perpendicular a su plano. Este eje contiene a la escala de grises que va desde el blanco, en el extremo superior, al negro, en el inferior, con un total de ocho tonos designados por letras del alfabeto: *a* (blanco), *c*, *e*, *g*, *i*, *l*, *n*, *p* (negro). Esta es la notación resultante luego de que Ostwald encontrara que los quince pasos originales no eran corrientemente necesarios y decidiera abreviar la escala salteando las letras. Los pasos perceptuales de la escala de grises están establecidos siguiendo la ley psicofísica de Weber-Fechner, según

la cual la sensación varía proporcionalmente al logaritmo del estímulo, estando el estímulo dado, en este caso, por la reflectancia luminosa de las muestras. Esto significa que si ubicamos los valores de reflectancia de los grises de Ostwald como puntos en una escala logarítmica, los mismos aparecerán equidistantes. La Figura 7 muestra la escala de grises con su notación y los valores de reflectancia dispuestos en una escala logarítmica. La escala de grises de Ostwald puede ser reproducida con exactitud a partir de un blanco y un negro con reflectancias 89,1 y 3,6 —como *a* y *p*, respectivamente— dispuestos en discos giratorios con los porcentajes indicados en el sector derecho de la Figura 7.

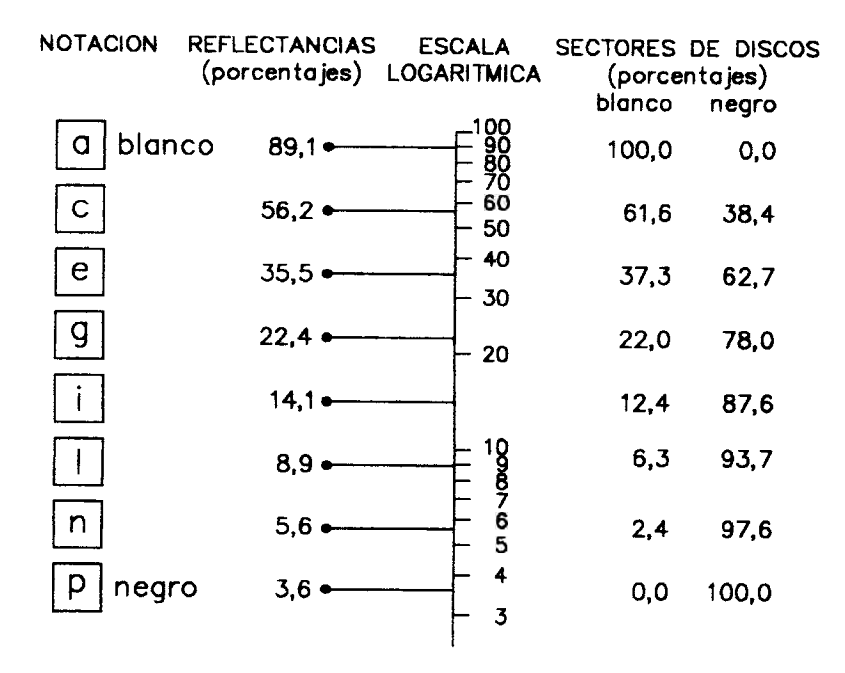


Figura 7: Sistema Ostwald: escala de grises con su notación y con los porcentajes de reflectancia luminosa marcados en una escala logarítmica (nótese que los intervalos entre cada paso de la escala son iguales), y porcentajes de blanco a *y negro* p *en discos giratorios para reproducir la escala (a partir de Jacobson et al. 1948: 39-40).*

El criterio de disposición de los tintes en el círculo se basa en ubicar en puntos opuestos los complementarios, es decir aquellos pares de colores que, puestos como sectores de un disco giratorio, dan como resultado un gris medio. En este círculo

cromático de 24 tintes, para encontrar el complementario de un tinte determinado es suficiente con sumar o restar 12 de su denominación.

Ahora bien, cada uno de los 24 tintes del círculo cromático se conecta con el blanco y con el negro de la escala de grises en sendas secuencias de ocho términos, generando los bordes de un triángulo equilátero que se completa cuando se producen las escalas intermedias. En este triángulo se dan los dos tipos de variaciones posibles para cada tinte, es decir la modificación de su contenido de blanco o su contenido de negro (Figura 8). En el borde superior del triángulo el contenido de negro es cero, y a lo largo de cada línea paralela al mismo se encuentran colores con igual contenido de negro; en el borde inferior el contenido de blanco es cero, y a lo largo de cada línea paralela a este borde se ubican colores con igual

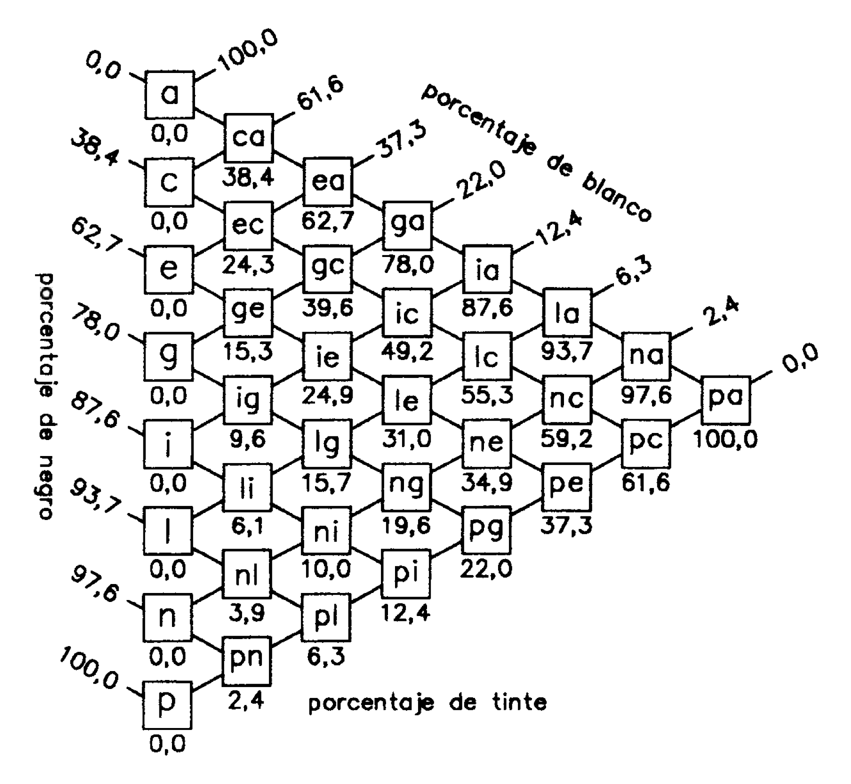


Figura 8: Sistema Ostwald: (a) esquema de un triángulo monocromático desarrollado a partir de un tinte determinado y la escala de grises; (b) porcentajes de tinte puro, blanco y negro para generar todos los colores del triángulo monocromático mediante discos giratorios.

contenido de blanco. Nótese que el tinte puro está en el encuentro de los dos bordes, donde tanto el contenido de blanco como de negro es cero. Dentro de un triángulo monocromático, la notación de cada color se hace combinando las letras de la escala de grises de manera tal que la primera indica el contenido de blanco y la segunda el contenido de negro. Esta notación es la misma para todos los triángulos monocromáticos, cualquiera sea su tinte; si a ella le agregamos la identificación del tinte, entonces tenemos la notación completa para cualquier color, por ejemplo *1 pa* es la notación del amarillo puro, *7 ca* la de un rosado muy claro.

Todos los colores de un triángulo monocromático pueden generarse mediante discos giratorios con sectores de un tinte puro, blanco y negro, en los porcentajes que muestra la Figura 8. La fórmula general es:

$$f + w + k = 100,$$

donde f es el contenido de tinte, w el contenido de blanco y k el contenido de negro.

Todos los triángulos monocromáticos reunidos, teniendo como eje común a la escala de grises, forman un modelo en forma de doble cono, un sólido de color (Figura 9).

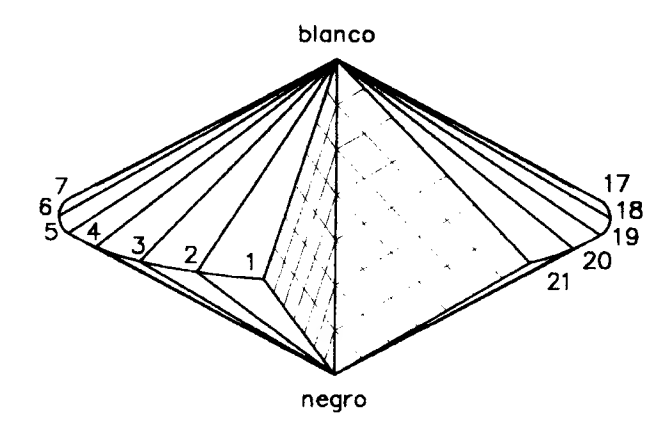


Figura 9:
Sistema Ostwald: esquema del modelo tridimensional que contiene todos los colores ordenados; los planos triangulares que contienen colores de tinte constante se disponen radialmente siguiendo el orden del círculo cromático y teniendo como eje a la escala de grises.

El atlas de Ostwald, publicado originalmente en 1917, ocho años después de su obtención del Premio Nobel en química, no se ha continuado reeditando hasta nuestros días. Quizá es en gran parte debido a ello —aunque también a algunas deficiencias del sistema— que no tiene actualmente la difusión y aplicaciones que poseen otros sistemas, siendo importante más que nada desde el punto de vista histórico.

El mayor inconveniente del sólido de Ostwald es que su absoluta simetría no es adecuada para representar un espacio de color con intervalos perceptualmente iguales. Esto se ve principalmente en el hecho de que todos los tintes del círculo cromático se encuentran a la misma distancia del blanco y del negro, siendo que, por ejemplo, el amarillo debería estar más cerca del blanco y el azul del negro. Además, como algunos autores coinciden en señalar (Lozano 1978: 27-28; Nemcsics 1990 [1993: 39]), el principio de aditividad previsto para la escala de tintes, según el cual sumando dos colores en proporciones iguales se obtendría el intermedio (por ejemplo el 50 por ciento de 1 más el 50 por ciento de 3 daría como resultante 2), es inexacto.

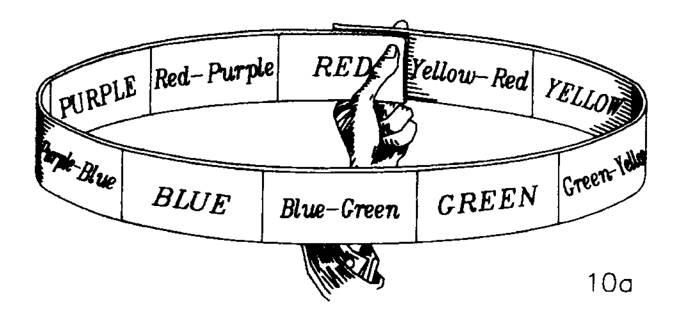
En 1948 se publicó en los Estados Unidos un atlas basado completamente en el sistema Ostwald, aunque ampliado con algunos colores adicionales en el círculo cromático y con sus correspondientes desarrollos en los triángulos monocromáticos. Esta edición viene acompañada de textos explicativos muy didácticos y claros, escritos por Egbert Jacobson (1942) y Jacobson, Granville y Foss (1948).

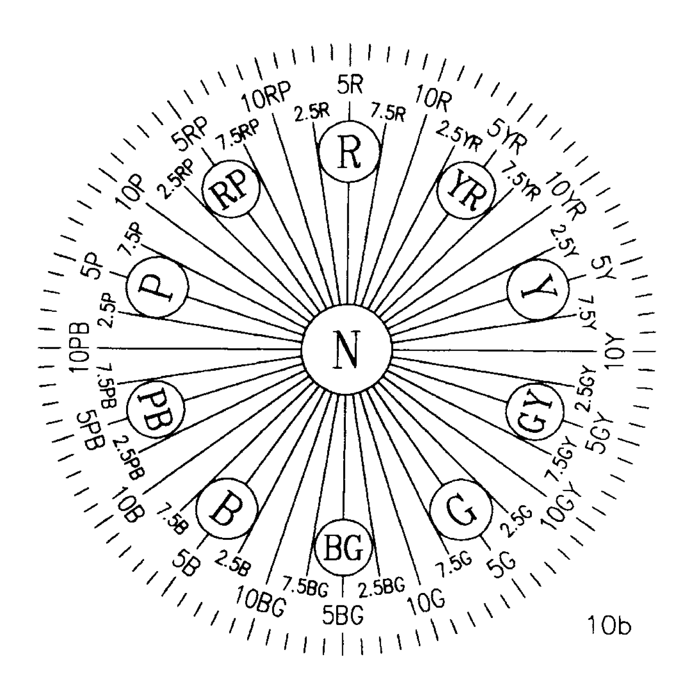
3.2. El sistema Munsell

Munsell (1905 [1946: 18]) comienza describiendo la organización del color a partir de una esfera, de manera similar a Runge, pero luego pasa a un sólido de forma irregular. En su sistema, las variables de análisis de cada color son el *tinte*, el *valor* y el *croma*.

La secuencia de tintes se organiza de manera circular, con cinco tintes principales equidistantes entre sí: rojo, amarillo, verde, azul y púrpura, los cuales se designan

con las iniciales de las palabras en inglés R (red), Y (yellow), G (green), B (blue), P (purple). Entre estos se ubican otros cinco tintes a los que se denomina intermedios. Ellos son el amarillo-rojo, verde-amarillo, azul-verde, púrpura-azul y rojo-púrpura, los cuales se designan combinando las iniciales anteriores: YR (yellow-red), GY (green-yellow), BG (blue-green), PB (purple-blue), RP (red-purple) (Figura 10a). El sistema prevé la ubicación de una mayor cantidad de tintes. Para esto se asigna una escala de variación de 1 a 10 para cada tinte principal e intermedio, correspondiendo el valor 5 al tinte central característico de la denominación. Así, por ejemplo 5R es un rojo típico, mientras que 10R está ya lindando con un amarillo-rojo (Figura 10b). Para simplificar la notación, cuando se trata del tinte central suele no colocarse el número 5 previo a la inicial del tinte, sino solamente la inicial.





El valor se refiere a la claridad del color. Se establece una secuencia de grises entre el blanco y el negro, llamada escala de neutros (N). Al negro le corresponde la denominación 0, los grises van del 1 al 9 y al blanco le corresponde el 10. Esta escala no se aplica solamente a los grises para ordenarlos de oscuros a claros, sino también a cualquier color cromático por comparación con el valor del gris correspondiente. El número que simboliza el valor de un color se coloca a continuación de su denominación de tinte, por ejemplo, R 7 (Figura 11).

Figura 10: Sistema Munsell: organización de la variable tinte *en un círculo cromático; (a) tintes principales e intermedios; (b) círculo completo con la numeración de los tintes.*

El croma se refiere al aspecto que varía entre un color intenso o de máxima pureza y uno apagado o grisáceo, suponiendo que pertenezcan al mismo tinte y posean idéntico valor. Esta variable viene a completar la definición precisa de un determi-

nado color. De hecho, nuestro ejemplo anterior, R 7, no representa un solo color sino una serie de rosados que pueden poseer mayor o menor saturación o croma según estén más o menos alejados del gris. La variación de croma se simboliza también con una serie de números que, partiendo de 0 para los neutros, crece a medida que el color se acerca a la máxima pureza o intensidad obtenible para cada tinte (Figura 12). Algunos tintes llegan a numeraciones más altas que otros. Por ejemplo el rojo llega hasta el croma 14, mientras que el azul-verde solamente hasta el croma 8.

Agregando a continuación del valor la indicación del croma, se especifica claramente un determinado color, por ejemplo R 7/6 es un rosado, G 5/2 un verde grisáceo.

Figura 11: Sistema Munsell: organización de la variable valor *a través de la escala de neutros y la correspondencia de cualquier tono con esta escala.*

Figura 12: Sistema Munsell: organización de la variable croma *en pasos de igualdad absoluta, que van desde los neutros a los colores intensos.*

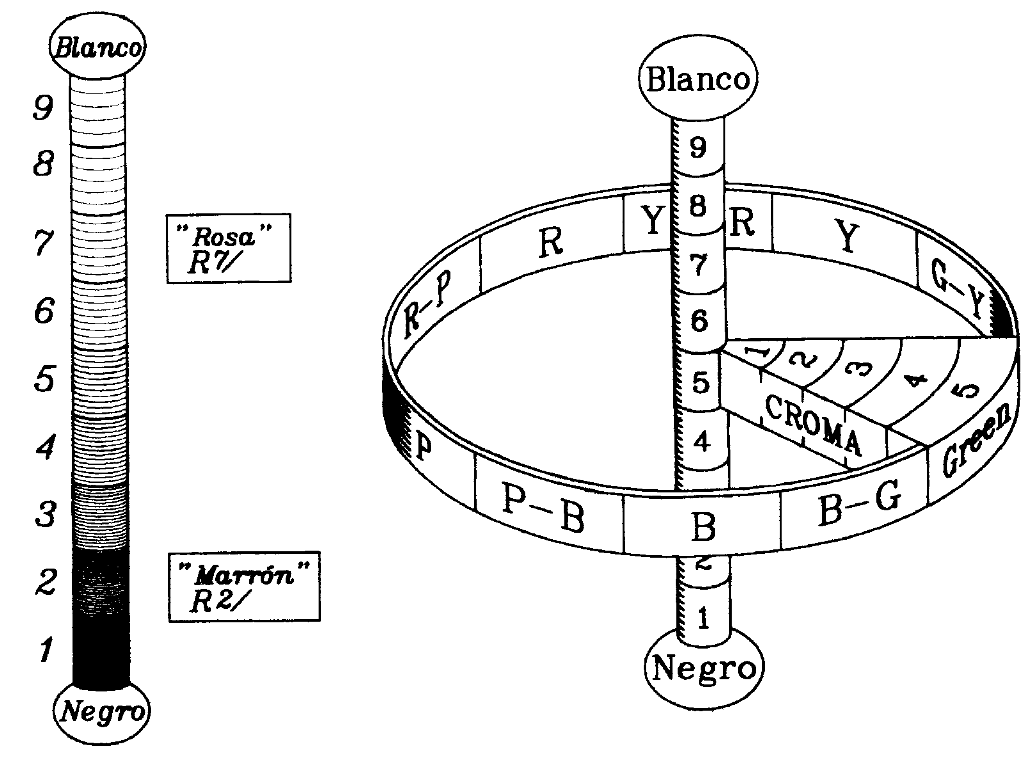


Figura 11 *Figura 12*

La Figura 13 muestra, para un tinte determinado, la forma en que se dispone la variación conjunta de valor y de croma. El valor varía en sentido vertical, correspondiéndose los niveles con la escala de grises, mientras que el croma varía en sentido horizontal, yendo desde los neutros hasta los colores de máxima intensidad obtenibles para cada nivel de valor. Así se genera una serie ordenada de colores que pertenecen a la misma familia en cuanto a su tinte. Todos los tintes desarrollados de igual manera que este ejemplo forman un atlas completo de colores.

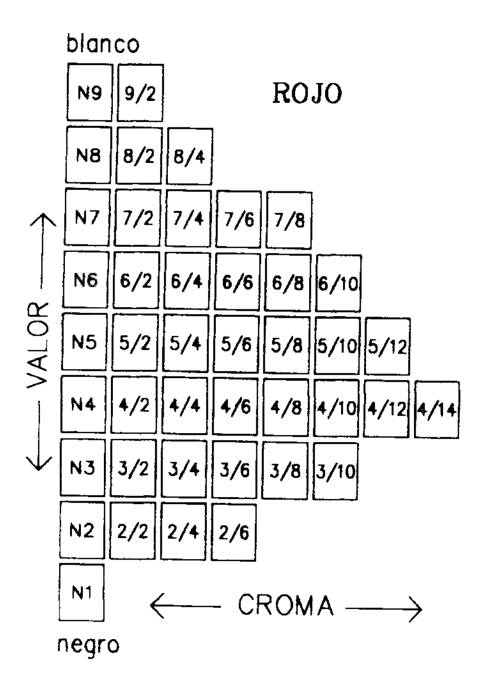


Figura 13: Sistema Munsell: disposición de la variación conjunta de valor y croma para un tinte determinado.

Las familias de colores de tinte constante comienzan, en su borde izquierdo, en la escala de grises. Es por este motivo que, siguiendo el orden dado en el círculo cromático, se pueden reunir todas las familias de tinte por dicho borde. Esto genera un sólido de color como el que se puede observar en dos representaciones diferentes en la Figura 14. La irregularidad exterior del sólido se debe a que la máxima intensidad o pureza obtenible se da a distintos grados de croma para cada tinte.

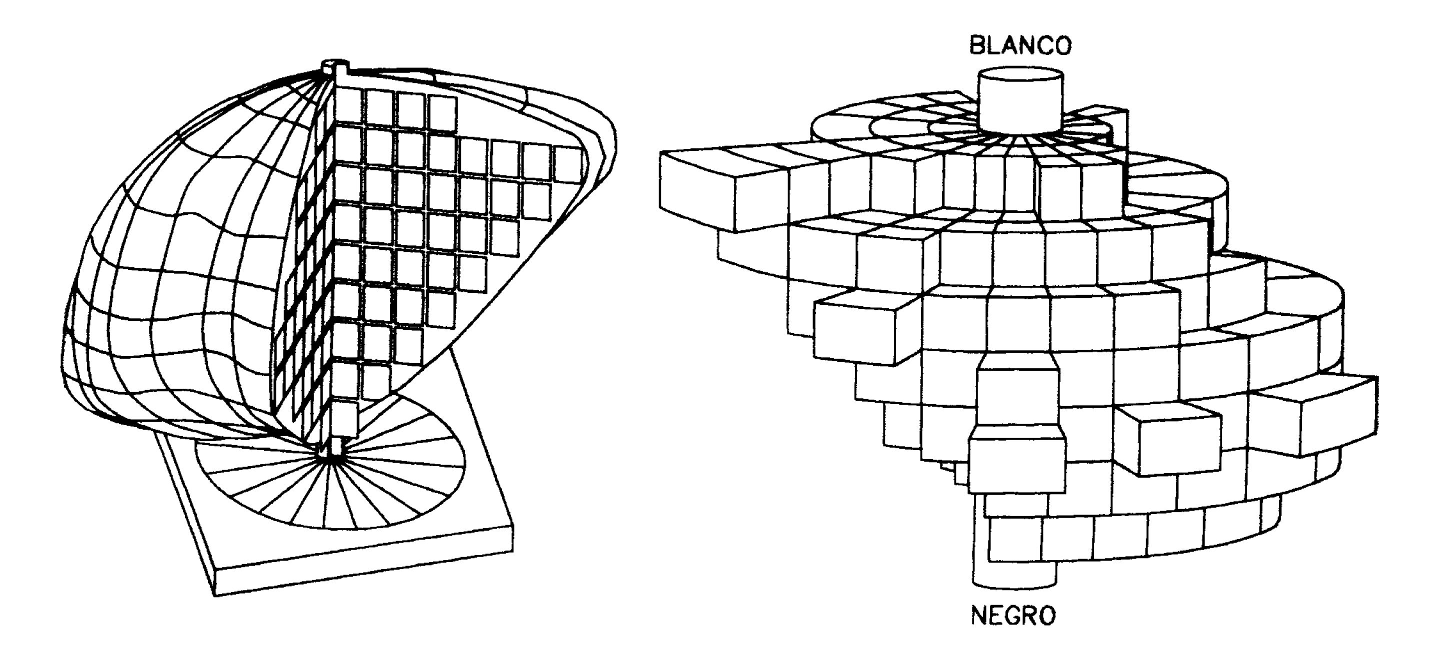


Figura 14: Sistema Munsell: dos representaciones del sólido de color, formado a partir de reunir los diferentes planos de tinte alrededor del eje de neutros.

3.3. El sistema CIE de 1931

El sistema adoptado en 1931 por la Commission Internationale de l'Éclairage describe a los colores a través de la distribución espectral de la luz, tanto de las fuentes primarias (las que emiten luz) como de las fuentes secundarias (las que reflejan la luz proveniente de una fuente primaria). Para este sistema colorimétrico internacional, sustentado en la teoría tricromática y en los principios de aditividad formulados por Grassmann (1853), se definió un observador patrón y se acordaron como estímulos de referencia radiaciones monocromáticas con longitudes de onda de 700 nanómetros para el rojo, 546,1 nanómetros para el verde y 435,8 nanómetros para el azul. Estos tres estímulos luminosos pueden pensarse como si estuviesen ocupando los vértices de un triángulo equilátero, como lo hiciera Maxwell (1860).

Chamberlin (1951) describe en lenguaje muy accesible la manera en que este

triángulo equilátero es transformado hasta arribar a la forma del diagrama de cromaticidad CIE de 1931. En los vértices del triángulo las tres luces de color aparecen en su máxima intensidad, 100 %; en cada lado del triángulo la intensidad del color ubicado en el vértice opuesto es cero; en el baricentro del triángulo, habiéndose desplazado cada color por la mediana en una distancia igual a los otros dos, los tres colores están influyendo en proporciones iguales y se neutralizan, obteniéndose el blanco. En los puntos ubicados sobre los lados del triángulo aparecen las mezclas de los estímulos de los vértices correspondientes. Así, por ejemplo, en el medio del lado verde-azul se ubica el cian, en el medio del lado verde-rojo el amarillo y en el medio del lado rojo-azul el púrpura o magenta, que es un color que no se obtiene en el espectro de la luz (Figura 15).

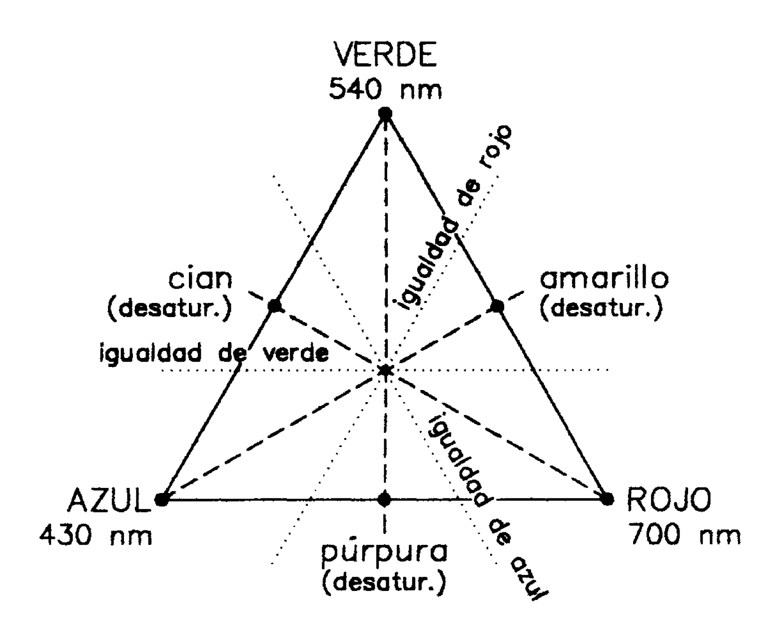
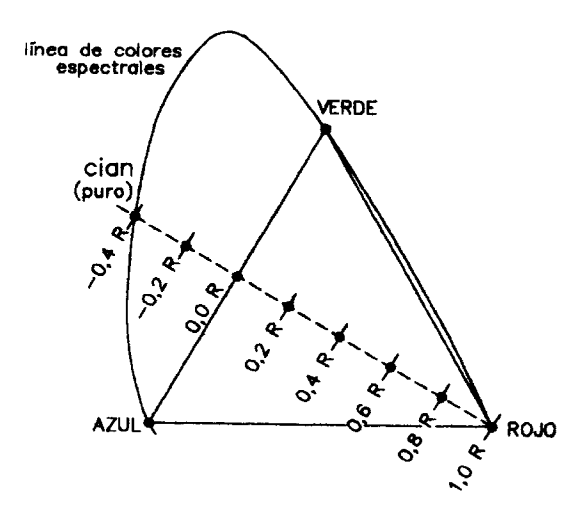


Figura 15: Sistema CIE: triángulo equilátero inicial (Maxwell).

Ahora bien, si los tintes que se dan en los lados verde-azul y verde-rojo del triángulo se comparan con los colores del espectro, se encontrará que son menos saturados o puros que los colores espectrales. Esto equivale a pensar que la línea de colores

espectrales se ubicará por fuera de los lados del triángulo y solo el rojo, el verde y el azul, con las longitudes de onda mencionadas, tocarán los vértices. Tomemos, por ejemplo, el lado verde-azul con el cian obtenido por la mezcla de ambos. Si queremos igualar este cian a partir del cian del espectro, que es más puro, tendremos que agregar una cierta cantidad de rojo al cian espectral. Si lo pensamos a la inversa, agregar rojo al cian espectral equivale a restar rojo del cian obtenido por mezcla, o bien sumarle una cantidad negativa de rojo, ya que sobre este lado la cantidad de rojo es cero. Si para igualar el cian de la mezcla se debe agregar un 40 % (o 0,4) de rojo al cian espectral, para obtener el cian espectral se deberá sumar –0,4 de rojo al cian de la mezcla. Por lo tanto, si la longitud de la mediana desde el vértice rojo hasta el lado del triángulo vale 1, podemos ubicar el cian espectral en la continuación de esta mediana por fuera del triángulo a una distancia de –0,4. Si este mismo procedimiento se aplica para los restantes colores espectrales, uniendo todos los puntos resultantes obtendremos una línea curva como se ve en la Figura 16. Esta curva muestra que salvo el rojo, verde y azul elegidos como primarios, todos los demás colores espectrales caen fuera del triángulo inicial, lo cual significa que para obtenerlos se necesitará la mezcla de dos primarios más una cantidad negativa del tercer primario.

Figura 16: Sistema CIE: ubicación de los colores espectrales en relación al triángulo equilátero inicial.



Ahora bien, todo esto funciona desde el punto de vista matemático, pero desde el punto de vista físico no tiene sentido hablar de cantidades negativas de luz. Vemos entonces que mediante mezclas positivas de los tres primarios elegidos —que por ser colores espectrales son los más puros e intensos que existen— pueden obtenerse todos los demás colores, pero no con la pureza necesaria como para igualar a los colores del espectro. Para salvar la imposibilidad de obtener ciertos colores (aquellos que caen fuera del triángulo) mediante mezclas positivas de tres primarios *reales*, la CIE adoptó tres primarios ideales, concebidos como de mayor saturación o pureza aún que los colores espectrales. Como estos primarios ideales no pueden ser producidos realmente ni apreciados por el sentido de la vista, no son llamados colores sino estímulos ideales, y son designados por las letras X, Y y Z en lugar de los nombres rojo, verde y azul. Por lógica, estos tres estímulos de referencia caen por fuera de la curva de colores espectrales y han sido elegidos de manera que, uniéndolos mediante rectas, incluyan a todos los colores espectrales en un triángulo como muestra la Figura 17. En la práctica, por supuesto, es necesario usar colores reales y por ello estos tres estímulos imaginarios se encuentran definidos por una fórmula matemática en términos de las tres luces espectrales roja, verde y azul mencionadas al principio. Cuando en la práctica se consigue igualar un color mediante la mezcla de colores reales, el resultado puede ser convertido a estímulos X, Y y Z a través de esa fórmula (Chamberlin 1951: 29).

Con el objeto de simplificar los cálculos, el triángulo XYZ es transformado en un triángulo equilátero, acomodando la curva de colores espectrales en consecuencia (Figura 18). Los estímulos ideales X, Y y Z pueden ser ahora utilizados de la misma manera que los colores rojo, verde y azul de los cuales se partió. Todos los colores reales tienen su lugar dentro de este espacio y solo es necesario indicar un punto del mismo, en términos de coordenadas X, Y y Z, para definir un color inequívocamente.

Pero todavía tiene lugar una simplificación más. Como es más sencillo trabajar con dos coordenadas ortogonales que con tres coordenadas a 0, 60 y 120 grados, el

triángulo equilátero es transformado en un triángulo rectángulo como muestra la Figura 19. El lado ZY pasa a ser la coordenada vertical *y* y el lado ZX pasa a ser la coordenada horizontal *x*. Estas dos coordenadas son suficientes para describir cualquier ubicación y por lo tanto cualquier color dentro del espacio.

Figura 17: Sistema CIE: triángulo envolvente de la curva de colores espectrales, con los tres estímulos primarios teóricos X, Y, Z.

Figura 18: Sistema CIE: transformación del triángulo de la Figura 17 en un triángulo equilátero con un sistema de tres coordenadas.

Figura 19: Sistema CIE: transformación del triángulo equilátero de la Figura 18 en un triángulo rectángulo con un sistema de dos coordenadas, el diagrama de cromaticidad CIE de 1931.

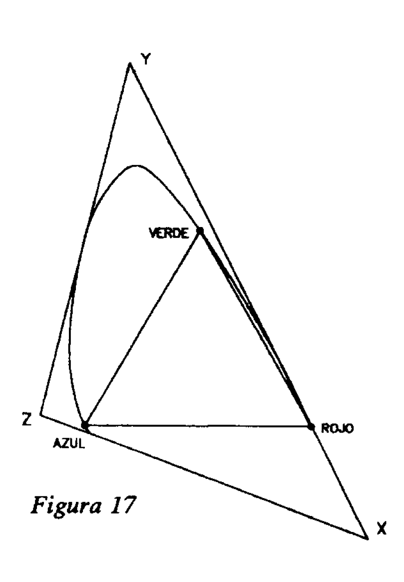


Figura 17

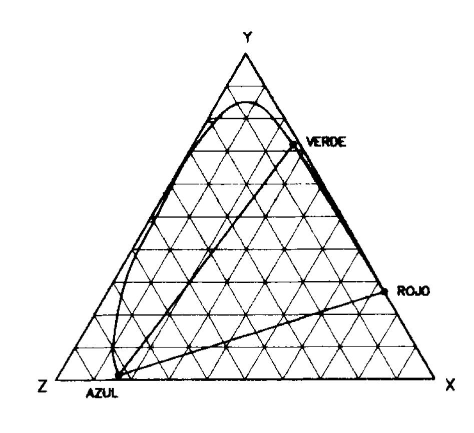


Figura 18

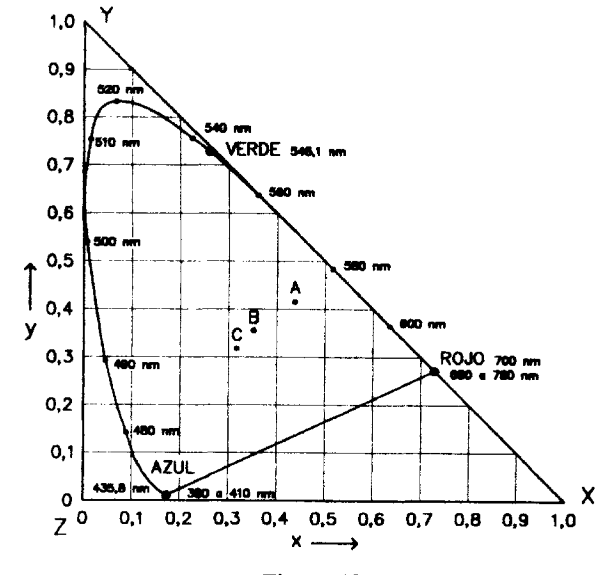


Figura 19

En este espacio, conocido como el diagrama de cromaticidad CIE, queda definido el tinte del color (según la longitud de onda dominante) y su saturación (dada por el grado de pureza del estímulo). Pero como sabemos, el color es tridimensional; nos está faltando aquí poder definir la luminosidad del color. Éste es un aspecto que es aportado a la colorimetría desde la fotometría, ya que se trata de la medición de la cantidad o porcentaje de luz emitida por una fuente o reflejada o transmitida por un objeto. Entonces, la medición completa de un color incluye su ubicación mediante coordenadas en el diagrama de cromaticidad y la expresión del factor de luminancia. El diagrama de cromaticidad puede completarse mediante una representación tridimensional en forma de cono, como se muestra en la Figura 20, para albergar la dimensión de luminosidad, pero en la práctica, debido a la dificultad que representa trabajar con representaciones y coordenadas en un espacio volumétrico, se utiliza el diagrama bidimensional y se da el valor de luminancia por separado.

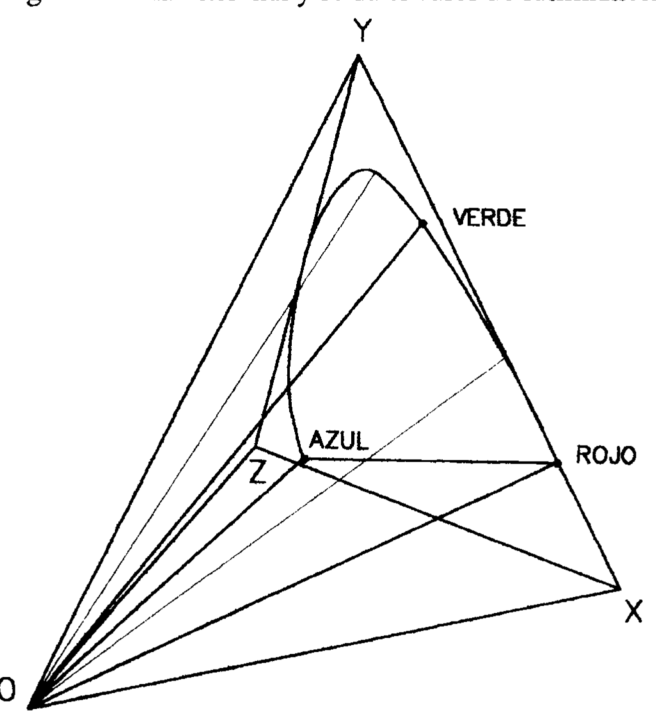


Figura 20: Sistema CIE: el diagrama de cromaticidad con el agregado de la dimensión de luminosidad, dando como resultado un espacio tridimensional.

Hay dos aspectos que deben tenerse en cuenta para que todo esto tenga la exactitud y objetividad pretendida. Uno es que los colores son definidos aquí no como los vería alguna persona en particular sino como resultan para un observador patrón o estándar, que es el promedio de varias mediciones y observaciones individuales. El otro aspecto se refiere a la luz con que debe iluminarse el objeto sobre el cual se desea medir el color. Como sabemos, la luz que incide sobre un objeto juega un papel primordial en el color con que ese objeto se presenta. Para atender a las diferentes necesidades, la CIE estandarizó en 1931 tres tipos de iluminantes: el iluminante A es equivalente a la luz de una lámpara de filamento de tungsteno, el B representa un promedio de la luz solar y el iluminante C equivale a la luz del cielo para la orientación sur, en el hemisferio sur, o norte, en el hemisferio norte.

El sistema CIE es apropiado para los casos en que se necesita la medición precisa y objetiva de un estímulo de color, como suele suceder en el campo de la producción industrial; no es habitual que lo utilice un arquitecto, un diseñador o un pintor en la práctica corriente de su profesión, a menos que tenga un interés específico. Posee la ventaja de ser un sistema logrado mediante un acuerdo internacional y que permite poder comparar mediciones en cualquier campo. Tan así es que muchos de los otros sistemas, como el Munsell, el Coloroid, el NCS, etc., además de definir los colores según sus propios parámetros, suelen agregar también sus valores en coordenadas CIE.

Para los fines de esta publicación, no interesa explayarse más allá de lo que lo hemos hecho sobre el sistema CIE. El lector que quiera profundizar en el mismo, en sus aplicaciones, así como en las posteriores transformaciones del sistema con el fin de lograr mayor homogeneidad o equidistancia perceptual dentro del diagrama —transformaciones que dieron origen al diagrama UCS (Uniform-Chromaticity Scale), a los espacios CIELUV, CIELAB y otros— puede acudir además a Judd (1935), MacAdam (1942, 1944), Evans (1948: 207-215, 235-302; 1974: 44-61), Optical Society of America (1953: 244-247, 283-316), Lozano (1978: 110-115, 199-291, 417-429; 1984), Pointer (1981), Wright (1981, 1982, 1982a), Nemcsics (1990 [1993: 51-63]), Robertson (1993a, 1993b), Morren (1993), Walraven (1993), K. Richter (1993), Hasegawa y Murakami (1993).

3.4. El sistema de Arthur Pope

En este sistema, cuyos orígenes se encuentran en los escritos de un académico de la Universidad de Harvard de principios de siglo, Denman Waldo Ross (1912: 38-43), las variables de análisis se denominan *tinte*, *oscuridad* (o valor) e *intensidad*. Los significados, salvo por algunos detalles, son similares a los de las tres variables de Munsell. Los tintes forman un círculo cromático con organización en tríadas. El amarillo (yellow, Y), el azul (blue, B) y el rojo (red, R), considerados como tres colores primarios, se colocan equidistantes en el círculo, como si estuvieran en los vértices de un triángulo equilátero inscripto. En posiciones intermedias se ubican el verde (green, G), púrpura (purple, P) y naranja (orange, O), que vienen a formar un triángulo de tintes secundarios, invertido respecto del anterior. El círculo queda así dividido, en principio, en seis tintes. Entre cada par de tintes vecinos se ubican tintes que son combinación de ambos: amarillo-verde (YG), azul verde (BG), azul-púrpura (BP), rojo-púrpura (RP), rojo-naranja (RO) y amarillo-naranja (YO), dando como resultado un círculo cromático de 12 tintes (Figura 21, arriba).

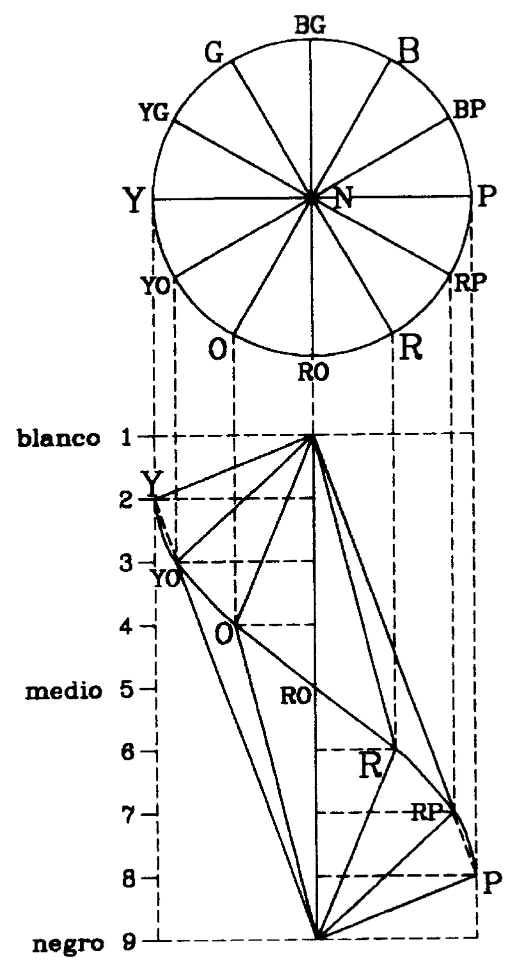
La variable llamada oscuridad es equivalente al valor de Munsell, salvo que corre en sentido contrario. Pope forma una escala de nueve oscuridades, ubicando el blanco en el nivel 1 (superior) y el negro en el nivel 9 (inferior). Lo interesante es que hace corresponder a los 12 tintes del círculo cromático con el nivel de oscuridad que cada uno naturalmente posee. Así, el amarillo, por ser el tinte más claro, se ubica en el nivel 2, el más cercano al blanco, el amarillo-naranja en el nivel 3, el naranja en el 4, el rojo-naranja en el 5, el rojo en el 6, el rojo-púrpura en el 7 y el púrpura, el más oscuro, en el nivel 8, el más próximo al negro (Figura 21, abajo). Siguiendo por el lado opuesto del círculo cromático, los tintes comienzan a subir nuevamente en la escala de oscuridades. Así, el azul-púrpura ocupa el nivel 7, el azul el nivel 6, el azul-verde el 5, el verde el 4, el amarillo-verde el 3, arribando nuevamente al amarillo en el nivel 2.

La intensidad es una variable que presenta un rasgo diferente respecto del croma de Munsell. La intensidad no se refiere, como en aquel caso, a grados absolutos, sino

que es relativa. En el perímetro del círculo se ubican los tintes con la máxima intensidad obtenible, a la que se le asigna el 100 %. Luego, para cada tinte, la escala de intensidad se construye hacia adentro: 75 %, 50 %, 25 %, hasta llegar al gris correspondiente, el cual tiene el 0 % de intensidad (Figura 22).

Figura 21: Sistema de Pope: (arriba) círculo cromático con la organización de la variable tinte; *(abajo) organización de la variable* oscuridad *en nueve niveles y correspondencia de cada tinte con los mismos.*

Figura 22: Sistema de Pope: organización de la variable intensidad *en pasos de igualdad relativa, desde el 100 % en un tinte con máxima intensidad hasta el 0 % en la escala de neutros.*



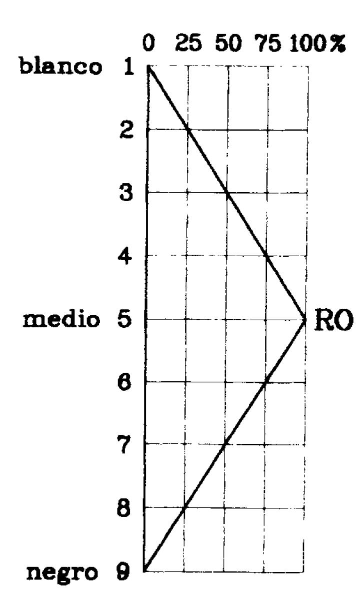
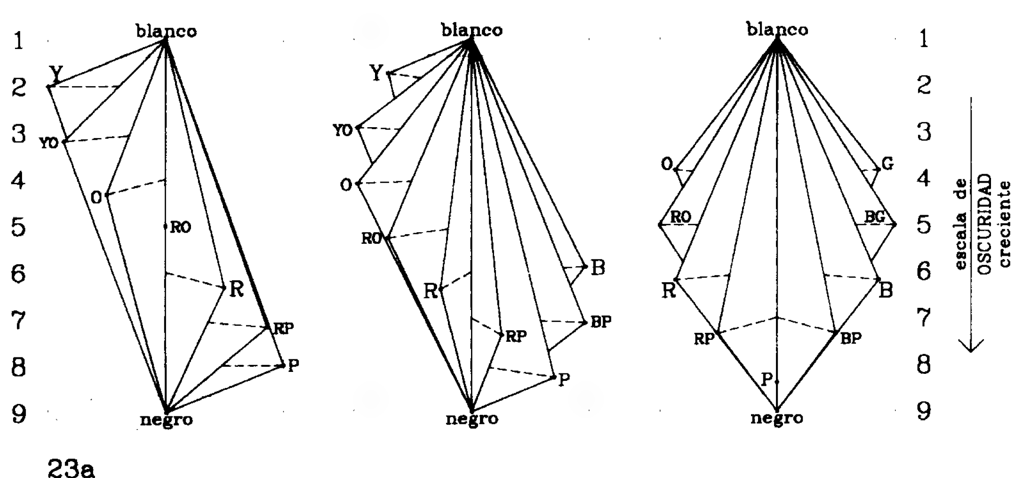




Figura 21

Figura 22

Cada familia de colores derivada de un tinte se despliega entonces en un plano triangular, donde la oscuridad varía en vertical y la intensidad en horizontal. El sólido de color se construye reuniendo todos los planos de tinte por su borde en común, la escala de grises (Figura 23a y 23b).



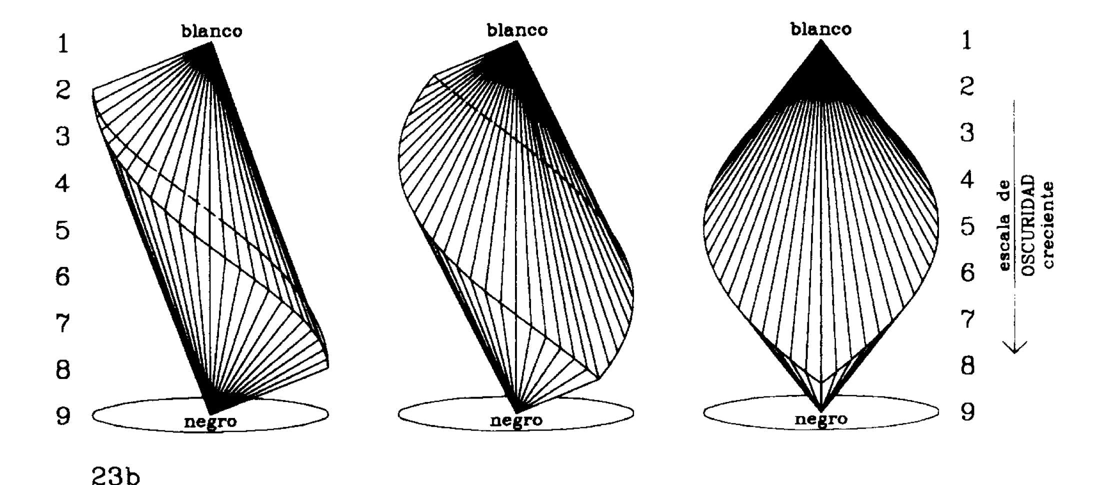


Figura 23:
Sistema de Pope:
dos representaciones del sólido de color;
(a) la estructura resultante de reunir todos los planos de tinte alrededor del eje de neutros;
(b) la representación sólida mostrando la superficie exterior.

3.5. El atlas de Villalobos-Domínguez

Uno de los sistemas de color cuyo atlas publicado contiene la mayor cantidad de muestras ha sido producido en la Argentina por C. Villalobos-Domínguez y Julio Villalobos (1947). El atlas consta de 38 tintes con otras tantas láminas de 191 colores que desarrollan cada una de las familias de tinte y una escala de grises de 21 neutros, incluyendo blanco y negro, lo cual totaliza 7.279 colores.

Las variables del color a partir de las cuales se organiza el sistema son: *tinte*, *valor de luminosidad* y *grado de cromicidad*.

El círculo de tintes se divide en tres colores *simples*: escarlata (S, scarlet), verde (G, green) y ultramar (U, ultramarine). Estos no son otros que los tres colores básicos del espectro —rojo, verde y azul— con los cuales de acuerdo con la teoría tricromática se producen todos los demás. En posiciones intermedias entre ellos se ubican tres colores *dobles principales*, formados por mezclas "equilibradas" de los simples: amarillo (Y, yellow), turquesa (T, turquoise) y magenta (M, magenta). Así se determina un hexágono cromático. Luego, hay seis tintes *dobles transitivos*, que son colores intermedios entre los seis ya mencionados: rubí (R, ruby), naranja (O, orange), verde limón (L, lime), esmeralda (E, emerald), cobalto (C, cobalt) y violeta (V, violet). Todo esto da como resultado doce iniciales, que se combinan de a pares adyacentes para identificar otros doce colores intermedios entre los anteriores, llamados *intercalares de primer orden*: SO, OY, YL, LG, GE, ET, TC, CU, UV, VM, MR y RS (Figura 24). Hay otros 14 tintes, llamados *intercalares de segundo orden*, que se designan con tres letras —SSO, OOS, etc.— y que completan el total de 38. Estos últimos tintes, que siguiendo la lógica de la notación deberían ser 24, están omitidos en algunos sectores donde las diferencias se hacen menos perceptibles.

Por cada tinte hay un desarrollo de una lámina completa de colores. En sentido vertical varía el valor siguiendo el patrón de la escala que va del negro al blanco con 19 grises intermedios, mientras que en sentido horizontal varía el grado de

cromicidad en 12 pasos que van desde los neutros (grado 0) hasta los colores francos (grado 12). Siguiendo líneas horizontales encontramos colores isovalentes y siguiendo líneas verticales colores isocromos (Figura 25).

En esta organización es criticable el hecho de ubicar como isocromos a un color saturado o puro y a colores con mezcla de blanco o negro. Los autores aclaran esta situación diciendo que por cromicidad no entienden una cualidad absoluta sino relativa, que se refiere a la máxima pureza que un color puede alcanzar dado su valor de luminosidad.

Como curiosidad, cabe señalar un rasgo que posee el atlas para facilitar la comparación de muestras. Cada color del atlas viene con una pequeña caladura circular, lo cual permite colocar por debajo la muestra que se desea comparar y observar los dos colores yuxtapuestos.

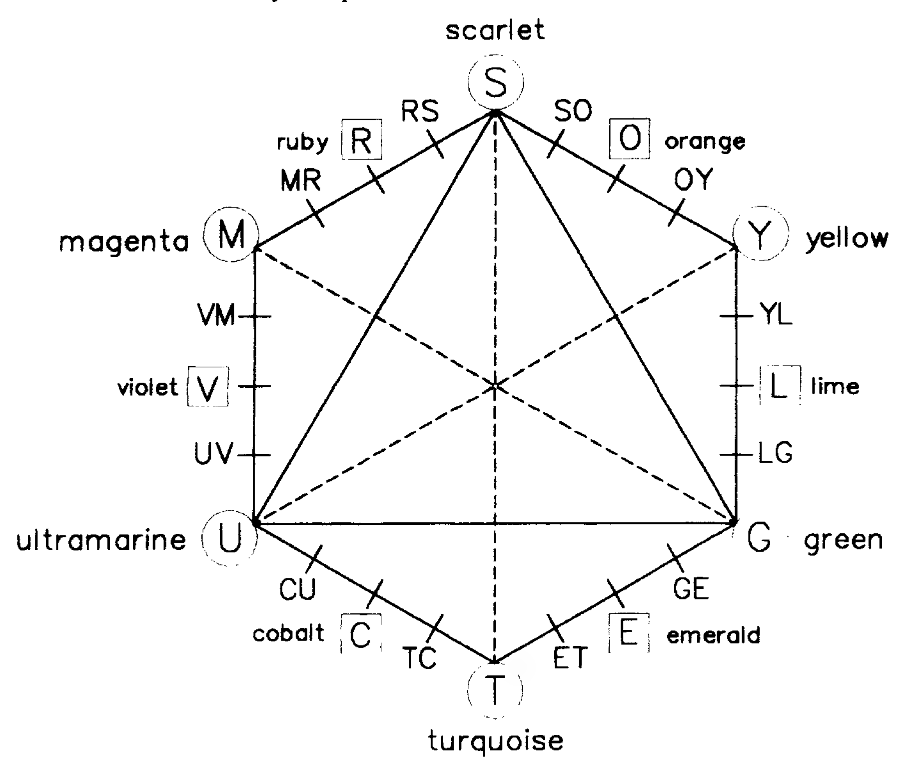
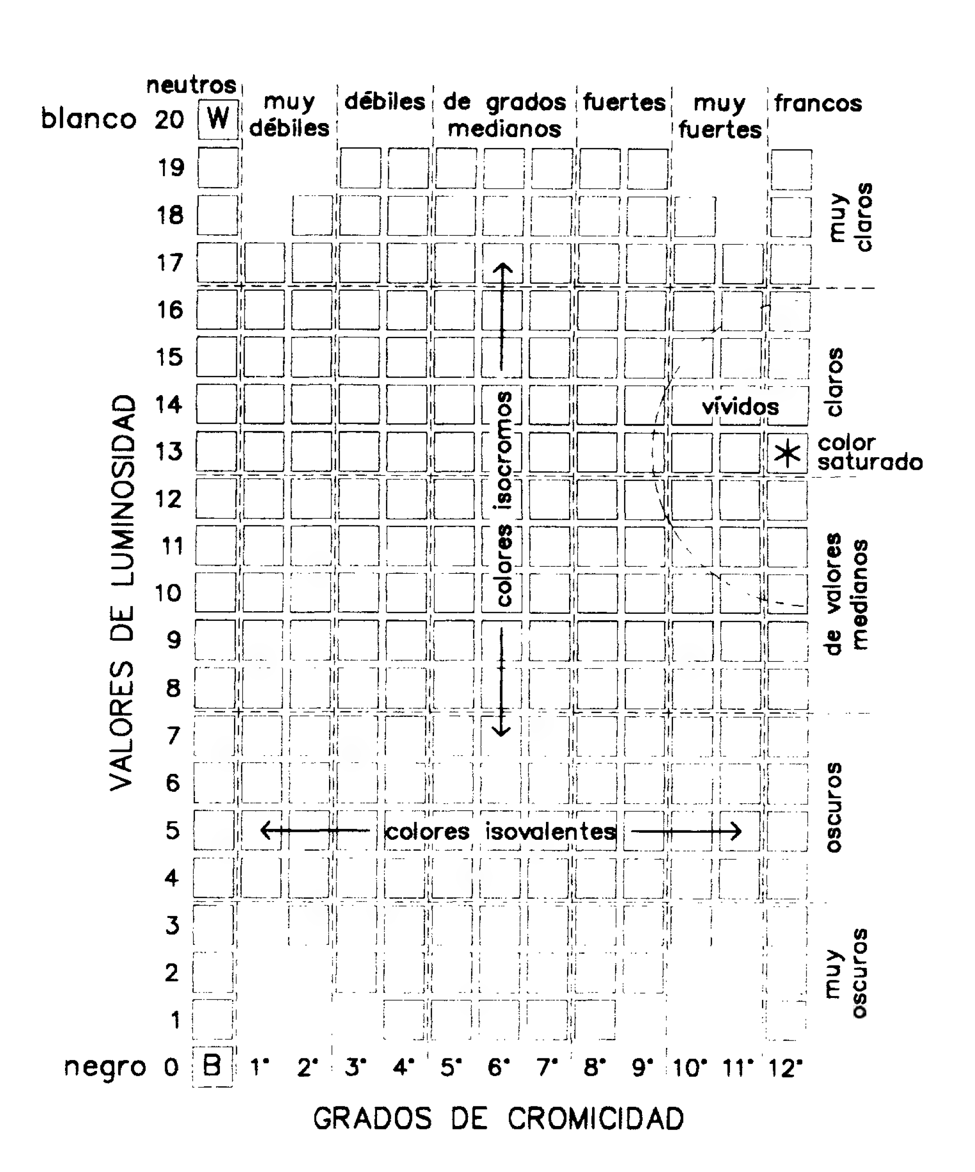


Figura 24: Atlas de Villalobos-Domínguez: esquema del círculo cromático con las denominaciones de los tintes.

Figura 25: Atlas de Villalobos-Domínguez: esquema de la disposición de los colores en una lámina de tinte constante.



3.6. El sistema natural de los colores NCS

Como lo expresan dos de sus más fervientes propulsores (Hård y Sivik 1981), el sistema natural de colores es un modelo psicométrico para la descripción del color, así como una aplicación práctica de la teoría de colores oponentes de Hering (1878). Esta teoría, que aparece como rival de la teoría tricromática de Young-Helmholtz, supone, en resumen, que la visión del color funciona por medio de un mecanismo inhibitorio sobre la base de seis sensaciones elementales agrupadas en tres pares de opuestos: blanco-negro (o claro-oscuro), amarillo-azul y rojo-verde. Cada una de estas seis sensaciones primarias se constituye como un punto de referencia mental o cognitivo, y se define por negación de las otras. Así, la sensación de negro se da cuando no existe ningún rastro de la sensación de blanco ni de las cuatro sensaciones cromáticas elementales; cuando percibimos el color elemental amarillo es que no encontramos ningún rastro de rojo, verde, azul, negro o blanco; y de igual manera, cada una de las otras sensaciones elementales de color aparece cuando se inhiben las restantes. Los pares de opuestos funcionan como divisores naturales de las sensaciones de color; uno puede percibir un verde amarillento (que estaría desplazado hacia un lado del eje verde-rojo) o un verde azulado (que estaría desplazado hacia el otro lado), pero es imposible la existencia de un verde que tenga algo de amarillo y algo de azul al mismo tiempo.

En el modelo NCS, los cuatro colores cromáticos —amarillo (*Y*, Yellow), rojo (*R*, Red), verde (*G*, Green) y azul (*B*, Blue)— se disponen en un círculo dividido en cuatro cuadrantes, y este círculo es atravesado por el eje que va del blanco (*W*, White) al negro (*S*, Svart en sueco o Schwarz en alemán). Quedan así formadas trece escalas básicas entre los seis colores elementales: blanco-amarillo, blanco-rojo, blanco-azul, blanco-verde, amarillo-rojo, rojo-azul, azul-verde, verde-amarillo, amarillo-negro, rojo-negro, azul-negro, verde-negro, y blanco-negro (Figura 26). A lo largo de una de estas escalas elementales, un color intermedio determinado se define por su grado de parecido con cada extremo. En la Figura 27 vemos un color que tiene un parecido al amarillo de 70/100 y al rojo de 30/100; por lo tanto tiene amarillez igual a 70 y rojez igual a 30. Como la suma de ambos atributos siempre

es 100, es suficiente con indicar el parecido en relación a uno de los colores elementales de los extremos de la escala, por ejemplo Y30R, lo cual significa un amarillo con un 30 por ciento de parecido con el rojo. En el círculo cromático, los tonos intermedios se designan de esta manera, mediante los colores elementales que delimitan cada cuadrante y el grado de parecido a uno de ellos (Figura 28). Cada tinte se desarrolla en un triángulo como el de la Figura 29. En los vértices de este triángulo tenemos un tinte con croma máximo (C), el blanco (W) y el negro (S). Los atributos correspondientes, que se designan con letras minúsculas, varían de la siguiente manera: el atributo de cromaticidad (c) varía de 0 a 100 desde el lado W-S hasta el vértice C, el atributo de negrura (s) varía de 0 a 100 desde el lado W-C hasta el vértice S y el atributo de blancura (w) —que no es indispensable definir ya que es el complemento de la negrura— varía de 0 a 100 desde el lado S-C hasta el vértice W. Todos los triángulos reunidos forman un doble cono cuya estructura esquemática ya vimos en la Figura 26.

Figura 26: Sistema natural de los colores NCS: representación esquemática del sólido de color en forma de doble cono.

Figura 27: Sistema natural de los colores NCS: escala elemental con grados de parecido entre dos colores.

Figura 28: Sistema natural de los colores NCS: diagrama del círculo cromático con la designación de los colores.

Figura 29: Sistema natural de los colores NCS: representación de un triángulo con colores de tinte constante y los valores de negrura s y cromaticidad c.

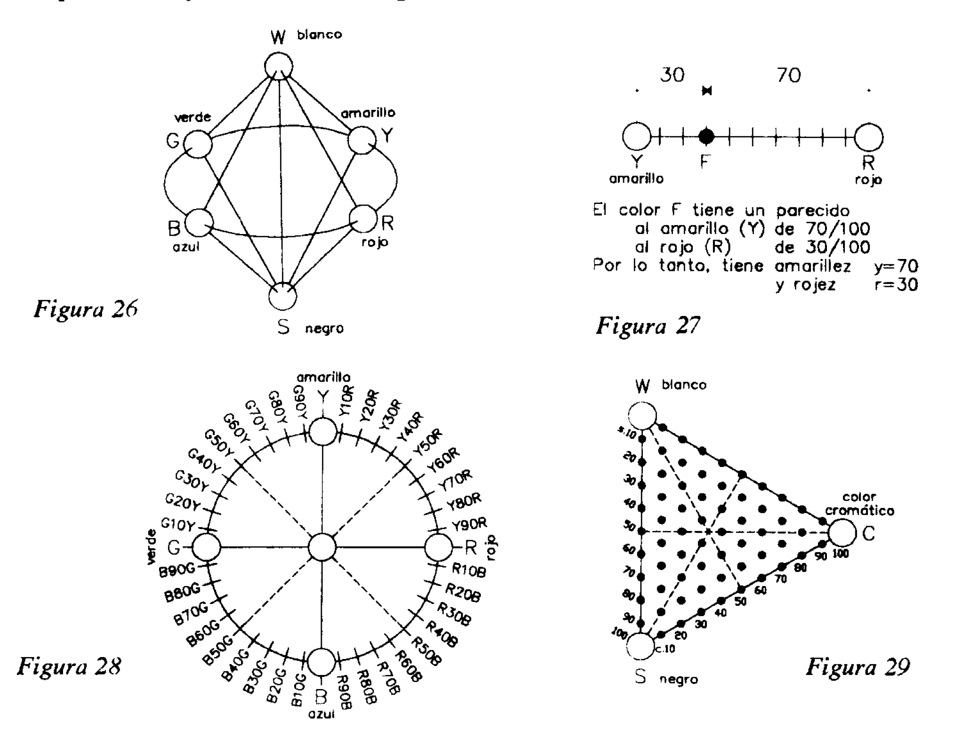


Figura 26

Figura 27

Figura 28

Figura 29

En términos matemáticos, la composición visual de un color determinado (F, Farbe en alemán o Fårg en sueco) puede ser expresada por cada uno de sus atributos elementales —negrura, blancura, amarillez, rojez, azulinidad y verdosidad— cuya suma total da 100:

$$F = s + w + y + r + b + g = 100. \qquad (1)$$

Siendo

$$y + r + b + g = c, \qquad (2)$$

podemos escribir la misma fórmula como

$$F = s + w + c = 100. \qquad (3)$$

El tinte es definido en cada cuadrante de la siguiente manera:

$$\varphi_r = \frac{r}{y + r} \cdot 100 = \frac{r}{c} \cdot 100, \text{ en el cuadrante } YR, \qquad (4)$$

$$\varphi_b = \frac{b}{r + b} \cdot 100 = \frac{b}{c} \cdot 100, \text{ en el cuadrante } RB,$$

$$\varphi_g = \frac{g}{b + g} \cdot 100 = \frac{g}{c} \cdot 100, \text{ en el cuadrante } BG,$$

$$\varphi_y = \frac{y}{g + y} \cdot 100 = \frac{y}{c} \cdot 100, \text{ en el cuadrante } GY.$$

De (3) surge que

$$s + c = 100 - w. \qquad (5)$$

Entonces, es suficiente con especificar la negrura (s), la cromaticidad (c) y el tinte (φ). En primer término se determina el tinte en el círculo cromático y en el cuadrante correspondiente (Figura 30a); luego, en el triángulo del tinte, se determina la negrura y la cromaticidad (Figura 30b).

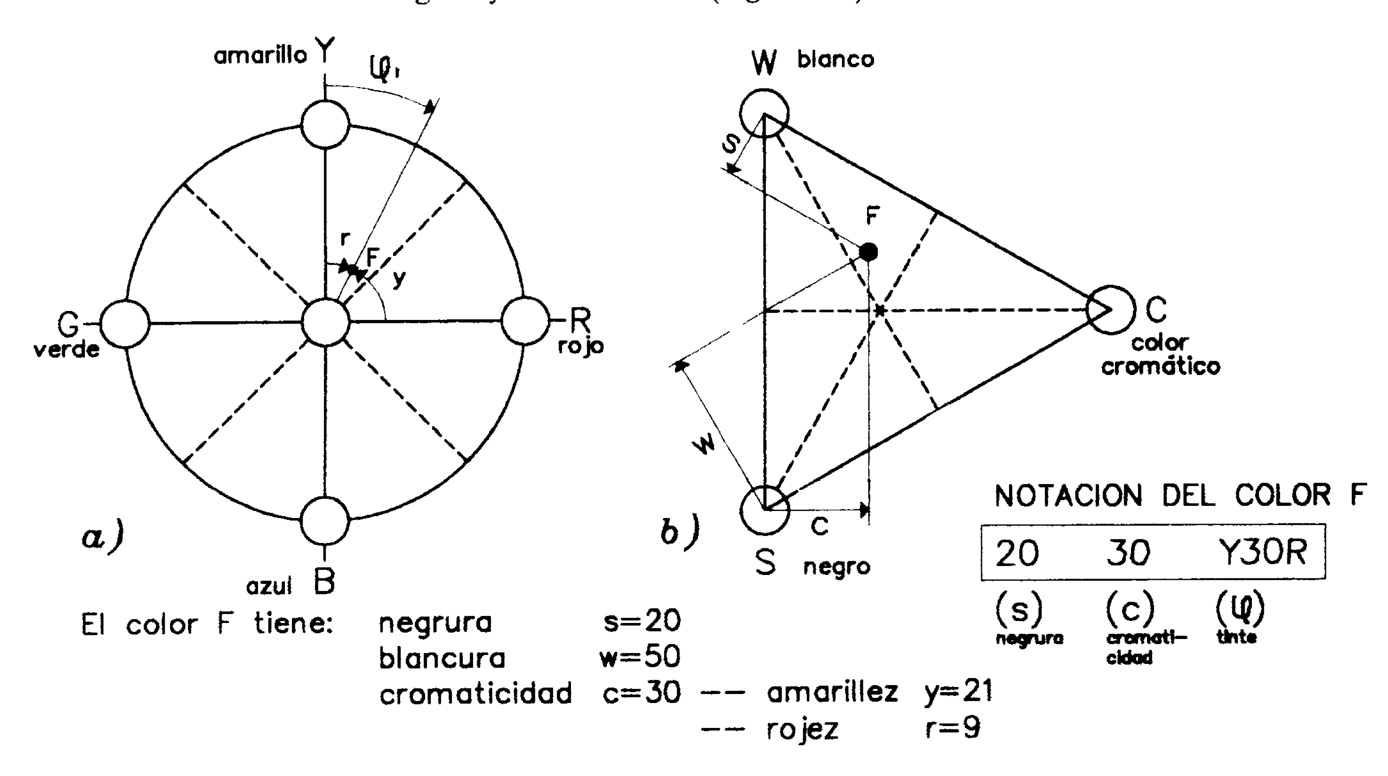


Figura 30: Sistema natural de los colores NCS: (a) determinación del tinte en el cuadrante correspondiente del círculo cromático; (b) determinación de la negrura s, la blancura w y la cromaticidad c en el triángulo de tinte constante.

El objetivo del sistema NCS es describir los colores tales como son vistos por los seres humanos, sin necesidad de ningún tipo de medición instrumental. Inclusive, como la definición de un color se da por sus atributos perceptuales, es decir, por el grado de parecido a cada uno de los colores elementales, y como estos colores elementales funcionan como una especie de referencia mental, ni siquiera se necesita de un atlas con muestras concretas para efectuar la comparación. De

hecho, el sistema NCS ha sido utilizado como medio para designar colores desde mucho antes que el Instituto Sueco de Estandarización publicara el Atlas NCS (Swedish Standards Institution 1979).

Las críticas que suelen hacerse a los sistemas como el NCS, basados en la teoría de los colores oponentes, pueden resumirse en dos puntos. Una cuestión es el hecho de incluir al amarillo como un color primario, siendo que el mismo puede obtenerse como mezcla aditiva de rojo y verde. El otro aspecto, en cierta forma consecuencia del anterior, es que en la intersección de los tres ejes de oposición coinciden tanto los puntos medios de la combinación blanco-negro y amarillo-azul, que dan neutro, como el punto medio de la combinación rojo-verde, que da amarillo. Los partidarios del NCS y de los sistemas de colores oponentes argumentan que ellos no consideran a los primarios desde el punto de vista de la física o la colorimetría sino como sensaciones psicológicas y que esa es la forma en que la gente percibe naturalmente los colores. Siguiendo este argumento se podría agregar una objeción más: también las personas perciben naturalmente al amarillo como más claro que el azul, y en el NCS el amarillo y el azul aparecen en el mismo nivel respecto de la escala de grises; para responder adecuadamente, el amarillo debería estar en correspondencia con un gris más claro —y en general cada tinte saturado debería corresponderse con el gris con el que naturalmente coincide en luminosidad— como sucede en el sistema de Pope o de Munsell. La defensa respecto de esta objeción es que el NCS no define a los colores en función de la luminosidad sino en función del contenido perceptual de negro y de blanco y en este sentido, tanto el azul como el amarillo, como los otros tintes, en cuanto sensaciones cromáticas puras, no tienen rastro alguno de negro ni de blanco por igual, y por lo tanto no están más cerca del uno que del otro.

3.7. El sistema Coloroid

El sistema Coloroid, desarrollado en la Universidad Tecnológica de Budapest, es, según las palabras de su autor, Antal Nemcsics, una herramienta apropiada para

abordar los problemas relacionados con el color en el diseño ambiental. Si otros sistemas, como por ejemplo el Munsell, intentan una igualdad perceptual en el espaciamiento de los colores, el sistema Coloroid apunta a una uniformidad desde el punto de vista estético. Más que a partir de la habilidad del ojo para distinguir diferencias de color entre un punto de una escala y el siguiente, el espacio Coloroid ha sido construido sobre la base de juicios de miles de observadores referidos a la variación uniforme en la totalidad de cada escala. Este sistema ha sido construido de manera tal que tenga una relación directa con el sistema CIE y por lo tanto se basa en la mezcla aditiva del color, llevada a cabo en este caso por medio de discos giratorios.

Las variables utilizadas son el tinte (*A*), la saturación (*T*) y la luminosidad (*V*), dispuestas como dimensiones en referencia a un cilindro ortogonal. Los colores acromáticos, del blanco al negro, se ordenan en forma lineal en el eje vertical del cilindro; los colores de igual luminosidad se ubican sobre planos horizontales, perpendiculares al eje del cilindro; los colores de igual saturación se ubican sobre láminas cilíndricas con sus puntos equidistantes del eje; los colores de igual tinte se ubican sobre las mitades de los planos definidos por secciones axiales verticales del cilindro (Figura 31).

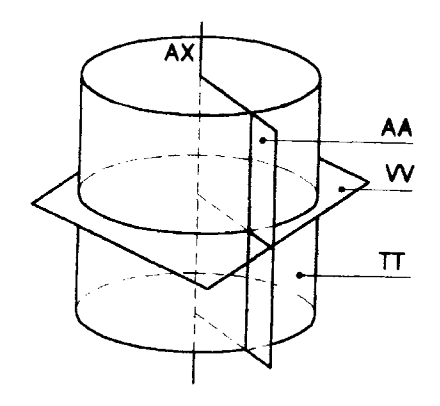
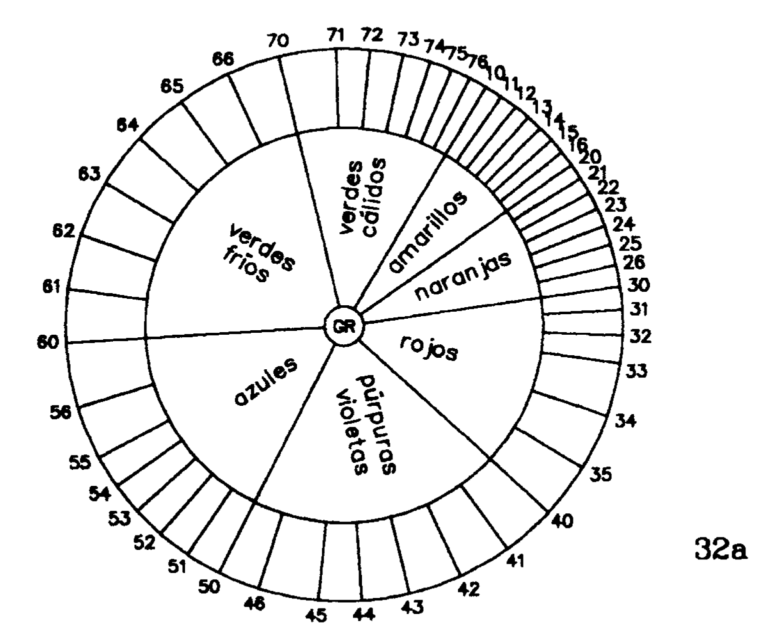


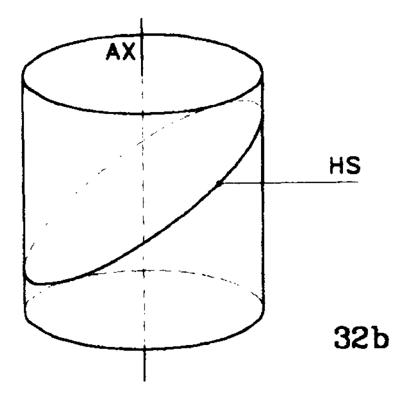
Figura 31: Sistema Coloroid: esquema de la organización cilíndrica, con el eje vertical AX de los colores acromáticos, una sección radial vertical AA de tinte constante, una sección horizontal VV de luminosidad constante y una lámina cilíndrica TT de saturación constante.

La serie de colores del espectro y los púrpuras que se obtienen por mezcla aditiva del rojo y violeta espectrales, se ubican como colores límite, siguiendo un circuito elíptico definido por la intersección de un plano inclinado y la superficie exterior del cilindro. En este circuito se adoptan 48 tintes básicos, cuya distribución, que desde el punto de vista geométrico aparece como desigual, responde al principio de equidistancia estética (Figura 32a). Estos 48 tintes se identifican por números y cada dominio de color comienza en una decena distinta; como se definen siete dominios, en cada uno de los cuales hay 7 tintes básicos —a excepción del dominio de los rojos en el que son 6— la numeración comienza en el 10 y termina en el 76, quedando números sin utilizar entre un dominio y el siguiente. En las puntas del eje acromático se colocan el blanco y el negro absolutos. Estos dos puntos y el circuito elíptico de colores límite (Figura 32b) se unen por medio de curvas, todo ello delimitando una porción del cilindro que define el *espacio de color Coloroid*. En este espacio de color se encuentran incluidos todos los colores perceptibles, ya que

Figura 32: Sistema Coloroid: (a) circuito cromático de colores límite con 48 tintes distribuidos en 7 dominios; (b) cilindro envolvente con la elipse HS *que marca la ubicación del circuito de colores límite.*



32a



32b

más allá de los colores espectrales y del negro y blanco absolutos no hay sensaciones de color posibles. Tanto el eje vertical como los radios de este espacio se dividen en 100 partes iguales (Figura 33); la luminosidad varía entre 0 (negro absoluto) y 100 (blanco absoluto), y la saturación varía entre 0 (acromático) y 100 (máxima pureza de los colores espectrales y los púrpuras).

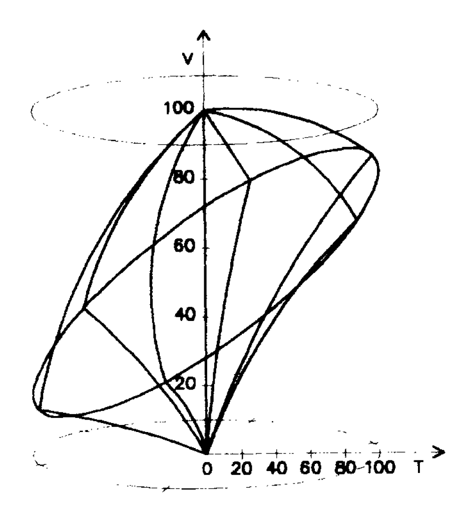


Figura 33: Sistema Coloroid: el espacio de color que incluye todos los colores perceptibles es una parte del cilindro envolvente que está confinada por el circuito elíptico de colores límite y las curvas que lo conectan con el negro y el blanco. El eje acromático y los radios se dividen en 100 partes.

Ahora bien, los colores de superficie, es decir, los colores que vemos habitualmente en los objetos que nos rodean —cuya saturación no llega a igualar la pureza de los colores espectrales y cuya luminosidad está siempre por debajo del blanco absoluto y por encima del negro absoluto— son solo una parte de la totalidad de colores perceptibles, y en el sistema Coloroid se encuentran delimitados como una parte del espacio de color. Esta parte forma lo que se denomina el *sólido de color Coloroid,* cuyos límites definen una forma irregular y nunca llegan al punto 100 de las escalas de saturación y de luminosidad. En la Figura 34a podemos ver una axonometría de este sólido de color incluido dentro del espacio de color, y en la Figura 34b una proyección horizontal donde se puede apreciar claramente el borde de las saturaciones máximas obtenibles para colores de superficie. La irregularidad de este borde se debe a que las saturaciones máximas obtenibles varían para cada tinte, algo

que ya vimos en el sistema Munsell. El atlas publicado del sistema Coloroid (Nemcsics 1988), que contiene 1.647 muestras concretas de colores de superficie, es una representación del sólido de color. No obstante, este atlas presenta solo algunos de los colores incluidos en el sólido de color ya que, siendo un modelo real, la variación del color en él es discreta, mientras que en el sólido, que es un modelo teórico, la variación del color es continua.

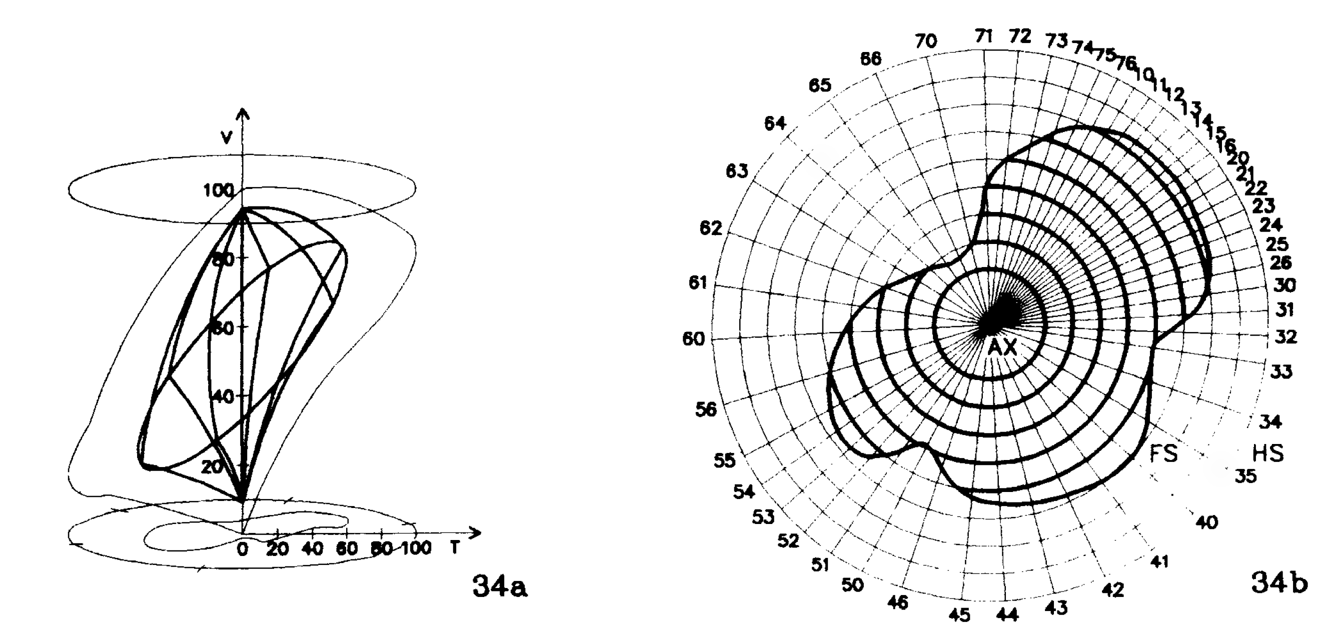


Figura 34:
Sistema Coloroid:
(a) el sólido de color que organiza los colores de superficie es, a su vez, una parte del espacio de color;
(b) la proyección horizontal de este sólido de color muestra sus límites irregulares dentro del espacio de color que se proyecta como un círculo.

Cada color se identifica por las coordenadas de tinte, saturación y luminosidad. La coordenada de tinte ubica al color en cuestión en un punto determinado del circuito cromático, en relación a una determinada longitud de onda dominante; la coordenada de saturación lo ubica respecto de su distancia perpendicular al eje acromático, según la escala de 100 divisiones; la coordenada de luminosidad lo ubica respecto de su distancia del negro absoluto medida en forma paralela al eje acromático según la escala de 100 divisiones. Los colores se denominan entonces mediante tres

números que indican su tinte, saturación y luminosidad, en ese orden; por ejemplo, 52-8-75 es un azul de baja saturación y luminosidad alta, es decir un azul grisáceo claro.

Todos los colores en el sistema Coloroid se consideran como una mezcla aditiva entre un tinte límite determinado (alguno de los colores espectrales o los púrpuras) y el negro y blanco absolutos. Los componentes de cada color son el contenido de tinte, el contenido de blanco y el contenido de negro, cuya suma es siempre igual a la unidad. Como en la práctica esta mezcla se realiza con discos giratorios, en los cuales no es posible utilizar colores espectrales ni blanco y negro absolutos, los componentes de mezcla para obtener un color determinado son tres colores de superficie cuyos valores de saturación y luminosidad sean conocidos: un color del mismo tinte pero de mayor saturación, un blanco que sea más claro y un negro que sea más oscuro que el color en cuestión. Estos tres componentes se disponen en un disco giratorio, variando las proporciones hasta obtener el color deseado. Luego se miden las proporciones de cada componente y, conociendo el tinte, la saturación y la luminosidad de los componentes, se puede calcular el tinte, la saturación y la luminosidad de la mezcla obtenida. Si no se dispone del mismo tinte, se elige un tinte a la derecha y uno a la izquierda para obtenerlo por mezcla; en este caso intervienen cuatro componentes en la mezcla total.

Entre los rasgos destacables del sistema Coloroid, podemos señalar la diferenciación que presenta entre un espacio de color, que contiene todos los colores perceptibles, y un sólido de color, que contiene solo los colores de superficie con los cuales habitualmente trabajan los arquitectos y diseñadores del medio ambiente; este es un concepto muy rico que no aparece tan claramente definido en otros sistemas de orden de color. Quien desee profundizar más sobre el sistema Coloroid, puede hallar descripciones más completas en Nemcsics (1980; 1987; 1990 [1993: 82-103]).

3.8. El atlas de Küppers

Küppers (1978) ha publicado un atlas de utilidad específica para las artes gráficas y la industria de la impresión, conteniendo más de 5.500 matices. Las muestras de color de este atlas han sido producidas por la técnica de impresión de cuatricromía, mezclando las cuatro tintas transparentes de impresión, amarilla, magenta, cian y negra, con la intervención del fondo blanco del papel. Por ello, las muestras no tienen la precisión colorimétrica que poseen otros atlas con muestras pintadas.

La gradación de las mezclas se expresa en porcentajes que equivalen concretamente a la proporción de superficie cubierta por cada tinta, de manera que esta notación sirve no solo para nombrar los diferentes matices sino también como fórmula para producir los colores. La variación se produce con diferencias del 10 por ciento entre un matiz y el vecino y entre una tabla y la siguiente.

Las tablas de colores publicadas se dividen en cinco series, tres denominadas de mezcla acromática debido a la intervención del negro y dos denominadas de mezcla cromática debido a la intervención exclusiva del amarillo, magenta y cian. En las tres primeras series, a una mezcla de dos tintas cromáticas con pasos del 10 por ciento que se mantiene constante para toda la serie, se le va agregando negro en tablas sucesivas y también con pasos del 10 por ciento. En la cuarta serie, a una mezcla de dos tintas cromáticas (magenta y cian) que se mantiene constante para toda la serie, se le va agregando amarillo en tablas sucesivas. Las series uno a cuatro constan de once tablas, con 0 %, 10 %, 20 %, 30 %, 40 %, 50 %, 60 %, 70 %, 80 %, 90 % y 99 % de la tinta que se agrega a la mezcla binaria fija. La quinta serie consta de dos tablas adicionales: una con mezclas amarillo-cian y el 99 % de magenta, y otra con mezclas amarillo-magenta y el 99 % de cian.

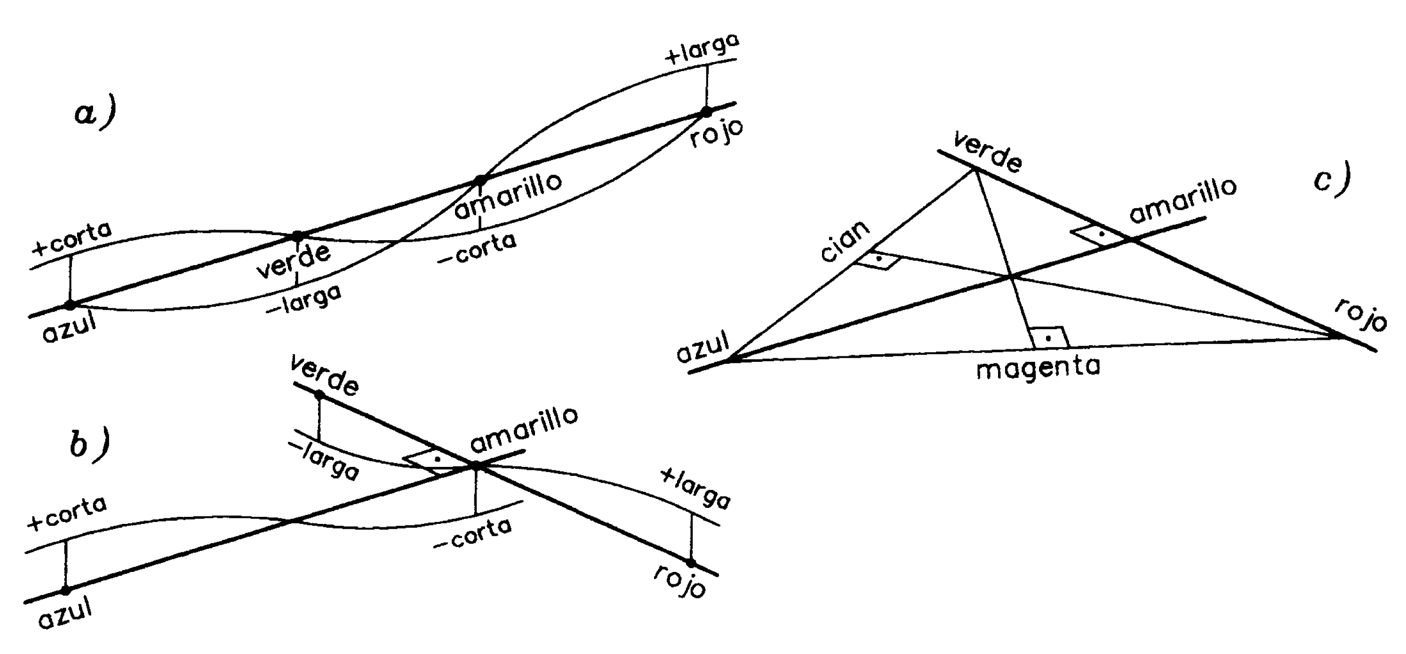
3.9. El espacio de color de Gerritsen

Frans Gerritsen (1989) propone una alternativa a la aparentemente irreconciliable disyuntiva entre un espacio de colores oponentes y un espacio tricromático,

construyendo un sistema donde tiene cabida tanto la oposición de los pares blanco-negro, amarillo-azul y rojo-verde, como la tríada rojo-verde-azul.

La línea que une al blanco con el negro se ubica, como es habitual, en el eje vertical del esquema, que corresponde a la variación de luminosidad. En una escala de longitudes de onda, en la zona de onda corta aparece el azul ultramar, luego sigue el verde, el amarillo y finalmente, en la zona de onda larga, el rojo (Figura 35a). Gerritsen quiebra esta escala en el punto del amarillo y hace girar 90 grados al segmento que va del verde al rojo (Figura 35b). De esta manera el rojo y el verde quedan como oponentes pero con centro en el amarillo, respondiendo a lo que sucede con la mezcla de luces. Luego une el extremo azul con el verde y el rojo, formando un triángulo equilátero en cuyo baricentro se encuentra el punto neutro o acromático (Figura 35c). El esquema se completa trazando las medianas que parten del verde y del rojo y ubicando el cian en el punto medio del lado verde-azul y el magenta en el punto medio del lado rojo-azul.

Figura 35: Espacio de color de Gerritsen: (a) escala de longitudes de onda; (b) esta escala es quebrada en el punto del amarillo y el segmento del verde al rojo es girado 90 grados; (c) uniendo los puntos extremos se forma un triángulo equilátero.



Entonces, los primarios aditivos de la teoría tricromática —rojo, verde y azul— quedan ubicados en los vértices del triángulo y el amarillo aparece en el punto medio del par de opuestos rojo-verde. Podemos notar además que el amarillo y el azul quedan como oponentes con centro en el punto acromático.

Manteniendo el esquema triangular, los tintes se colocan equidistantes del centro neutro, formando así un círculo cromático (Figura 36). Finalmente, los tintes se hacen corresponder, según su luminosidad intrínseca, con los valores del eje vertical negro-blanco que ha sido dividido en 20 niveles, quedando conformado el sólido que muestra la Figura 37. Tomando como referencia el nivel 10, que corresponde al gris medio, vemos que el verde aparece un nivel por debajo, el magenta un nivel por encima, el rojo tres niveles por debajo, el cian tres niveles por encima, el azul cinco niveles por debajo y el amarillo cinco niveles por encima. Nótese que los tintes opuestos en el círculo se ubican a igual cantidad de escalones por encima y por debajo del nivel medio, de manera que una recta que los conecte pasará por el gris del nivel 10. Este espacio cromático aparece también explicado —y ejemplificado con láminas en color— en Gerritsen (1975 [1976: 83-109]).

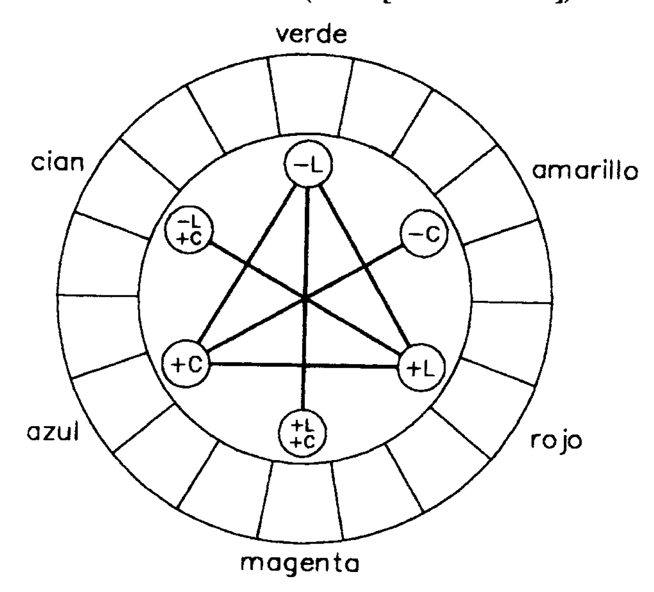


Figura 36: Espacio de color de Gerritsen: circuito cromático a partir del triángulo con los tres primarios aditivos.

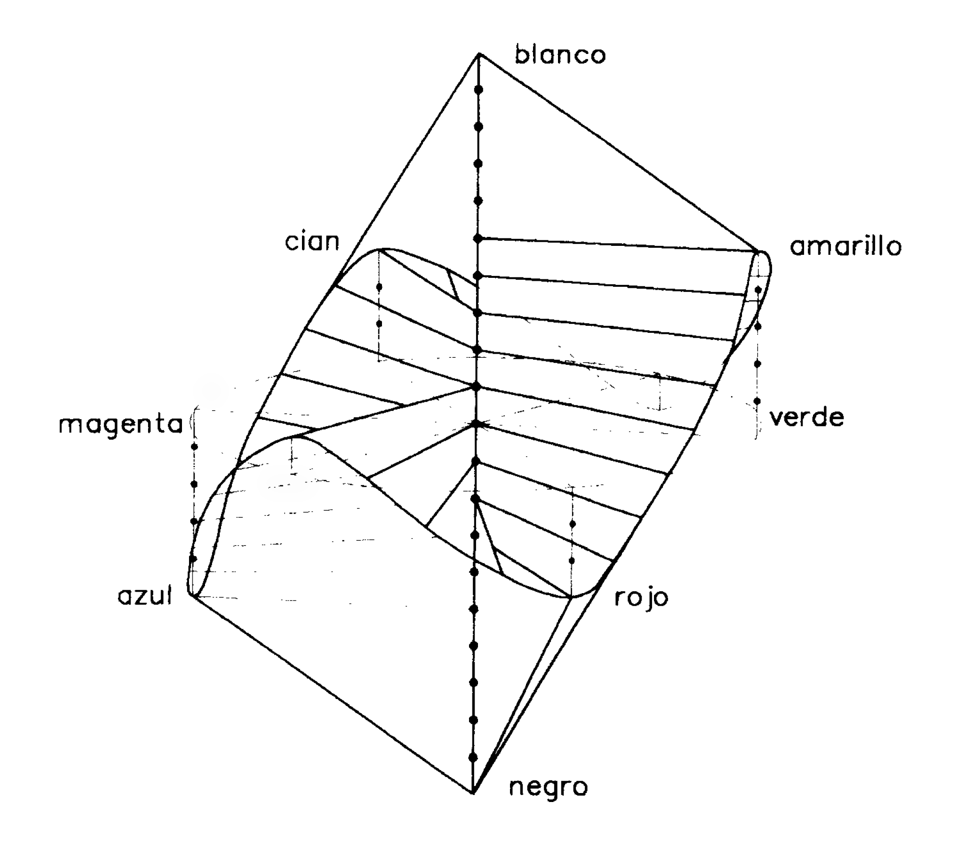


Figura 37: Espacio de color de Gerritsen: sólido de color, con el eje acromático y los tintes del circuito cromático ubicados según sus valores de luminosidad.

3.10. Otros sistemas de orden del color

Además de los sistemas descritos o mencionados hasta aquí, existen muchos otros. Si bien no desarrollaremos una explicación, daremos al menos una breve referencia de algunos de los que han surgido en este siglo.

El sistema DIN (Deutsches Institut für Normung) fue desarrollado en Alemania en la década del cuarenta y se transformó en la norma alemana para el color en 1953; su principal artífice ha sido Manfred Richter (1952; 1955; Richter y Witt 1986). Entre los sistemas que sirvieron de fundamento al sistema natural de colores actual, en Suecia, merecen mencionarse los sólidos de color de Hesselgren (1953) y de

Johansson (1937; Hesselgren 1967 [1973: 61-64]). Podemos mencionar además el cubo de Hickethier (1952), basado en la mezcla tricromática sustractiva —al igual que el posterior sistema de Küppers— y de utilidad para la industria gráfica, el sistema y atlas de color suizo de Müller (1965), la carta de colores armónicos y el sólido PCCS japonés (Japan Color Research Institute 1975).

4. Comparaciones y evaluación

Veamos en primer lugar algunos aspectos comparativos entre los sistemas de Munsell y Pope, los cuales pueden ser utilizados en las distintas disciplinas que tienen que ver con el diseño. La mayor difusión y el uso más generalizado del sistema Munsell se debe, en parte, a la continuidad en la publicación de su atlas de colores, que ha seguido perfeccionándose y completándose a lo largo de los años. Cualquier muestra de color puede referirse, por comparación, a una muestra del atlas y a su notación correspondiente, lo cual resulta de suma utilidad en la especificación de colores por parte de un diseñador. Pope, en cambio, no publicó un atlas que sea directamente utilizable. Su sistema ofrece más bien un modelo simple, rápidamente aprehensible y bastante exacto para pensar el color.

El concepto de croma en Munsell, cuya variación es desarrollada en saltos visualmente iguales, es tomado como distancia absoluta al eje neutro. El sólido de color se construye de adentro hacia afuera y el borde exterior queda abierto. Esto tiene la ventaja de que, toda vez que para determinado tinte pueda obtenerse un pigmento de mayor pureza, es posible agregar un nuevo escalón de croma sin alterar los existentes. En el sólido de Pope, como hemos visto, la intensidad —la variable equivalente al croma— es relativa. En el borde del círculo cromático se ubican los

tintes en su intensidad máxima. El sólido se construye de afuera hacia adentro y, siendo que algunos tintes necesitan mayor cantidad de pasos de igualdad absoluta para arribar al gris que otros, los cuatro saltos de intensidad (100 % - 75 % - 50 % - 25 % - 0 %) para los diferentes tintes solo resultan proporcionalmente (o relativamente) iguales. Es decir que la intensidad 50 %, por ejemplo, solo representa la intensidad media de un tinte respecto de aquella que se tomó como intensidad máxima. El inconveniente que esto presenta es que si se logra mejorar algún tinte obteniendo una mayor pureza, en lugar de simplemente agregarlo, como en el caso de Munsell, hay que reconstruir hacia adentro toda la escala de intensidades.

Joy Turner Luke (1976) hace también un análisis comparativo de los sistemas de Munsell y Pope, incluyendo además el sistema de Ostwald en la evaluación. La bibliografía sobre análisis históricos, comparativos o clasificatorios de sistemas de orden de color es bastante extensa; podemos mencionar, además de las referencias ya hechas, los artículos de Spillmann (1985), Nemcsics (1993; 1993a), Robertson (1993), Albrecht (1993), Sivik (1993) y Tonnquist (1993), y secciones de los libros de Déribéré (1958 [1964: 20-37]), Fabris y Germani (1963 [1973: 55-65]), Hesselgren (1967 [1973: 58-68]) y Gerritsen (1975 [1976: 19-24]).

Especialmente interesante es el análisis de Billmeyer (1987), quien traza la historia y los principios de varios sistemas, establece comparaciones y diferencias y brinda datos sobre los intentos de conversión de notaciones entre varios de ellos. Entre otras cuestiones, marca las diferencias fundamentales entre el sistema de Ostwald y el NCS. El lector habrá notado que parecen iguales en varios aspectos; no obstante, los principios sobre los que están construidos los hacen diferentes más allá de la forma exterior. El principio ordenador de Ostwald es la mezcla óptica mediante discos giratorios, mientras que en el NCS lo que cuenta es la evaluación perceptual de las personas. Esto hace que, por ejemplo, el azul y el verde de Ostwald —que deben cumplir el requisito de neutralizarse en gris con sus complementarios— sean completamente diferentes del azul y el verde del NCS y que, fundamen-

talmente, las dimensiones de contenido de blanco y contenido de negro de Ostwald —que se refieren concretamente a porciones de color en los discos— tengan un significado muy diferente al de los atributos de blancura y negrura del NCS.

William Hale (1989) discute los usos de los sistemas de orden de color, tanto de los que tienen una base científica o teórica importante como de aquellos más pragmáticos o con específico interés comercial. Tonnquist (1989) ofrece un criterio para clasificar los sistemas de orden de color. Los divide en: (a) físicos, aquellos que tienen como referencia muestras reales y que solo existen en función de un atlas o una carta de colores; (b) psicofísicos, aquellos cuya definición está dada por valencias para un conjunto de puntos en un espacio de color y cuya definición solo es válida para una combinación dada de observador, iluminante e instrumento de medición, como por ejemplo el sistema CIE; (c) perceptuales, aquellos definidos en términos de perceptos elementales de color, referencias mentales de ciertos colores básicos que sirven para describir todos los demás colores, como por ejemplo el sistema NCS.

En la actualidad, algunos países han adoptado determinados sistemas de color como normas de estandarización nacionales. Así, Alemania se rige por el sistema DIN, Estados Unidos, Japón e Italia por el Munsell, y Suecia junto con otros países escandinavos por el sistema NCS. Ningún sistema de color goza de la aceptación como norma internacional. En el Sexto Congreso de la Asociación Internacional del Color tuvo lugar una discusión específica sobre si algún sistema en particular era mejor que los demás (AIC 1989, vol. I: 163-172). La conclusión es que no existe un sistema en especial que sea *el* mejor para todas las aplicaciones, que pueden cubrir campos tan diferentes como la enseñanza del color, la práctica artística en disciplinas como la fotografía, la pintura y las artes plásticas en general, la práctica profesional en las diversas ramas del diseño, arquitectónico, gráfico, industrial, textil, del paisaje, etc., la especificación del color en materiales tan disímiles como papel, telas, cuero, plásticos, metales, o en industrias complejas como la automotriz o la alimenticia, la reproducción del color en televisión, video y monitores de

computadoras, etc.; algunos sistemas son más útiles que otros para determinados problemas. En el Séptimo Congreso de la AIC también se organizó una mesa redonda sobre sistemas de orden de color (AIC 1993, vol. A: 173-174), en la cual hubo consenso sobre algunos puntos; entre ellos: (a) que las muestras físicas de colores, si bien son útiles, no son esenciales para un sistema de color y (b) que en grandes líneas los sistemas pueden dividirse en dos tipos, sistemas de apariencia del color (un ejemplo típico sería el NCS) y sistemas de estímulos de color (un ejemplo sería el CIE).

Referencias

AIC (Association Internationale de la Couleur). 1989. *Color 89, Proceedings of the 6th Congress* (Buenos Aires: Grupo Argentino del Color).

——. 1993. *Colour 93, Proceedings of the 7th Congress*, 3 vols., ed. A. Nemcsics y J. Schanda (Budapest: Hungarian National Colour Committee).

ALBERTI, Leon Battista. 1435. *De pictura*. Traducción inglesa por John R. Spencer, *On Painting* (New Haven, Connecticut: Yale University Press, 1956).

ALBRECHT, Hans Joachim. 1993. "Visuelle Ordnung des Farbenraumes - Bildräume konkreter Malerei", en AIC 1993, vol. A, 79-87.

ARISTÓTELES. i. 384-322 AC. *De sensu et sensibilia*. Traducción inglesa por W. S. Hett, "On sense and sensible objects", en *On the soul, parva naturalia, on breath* (Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press, 1936).

BILLMEYER (Jr.), Fred W. 1987. "Survey of color order systems", *Color Research and Application* **12** (4), 173-186.

CIE (Commission Internationale de l'Éclairage). 1993. *Proceedings of the CIE Symposium on Advanced Colorimetry*, 8-10 junio, ed. J. Schanda y C. Hermann, Publ. CIE x007 (Viena: CIE).

CHAMBERLIN, Gordon James. 1951. *The CIE international colour system explained* (Salisbury, Inglaterra: The Tintometer).

DÉRIBÉRÉ, Maurice. 1958. *La couleur dans les activités humaines*, 2da ed. (París: Dunod, 1959). Traducción española, *El color en las actividades humanas* (Madrid: Tecnos, 1964).

DONG, Tai-Huo, y Wen-Ying JIN. 1989. "The discoveries of color specification, color blindness and opponent theory of color vision in ancient Chinese literature", en AIC 1989, vol. II, 253-255.

EVANS, Ralph M. 1948. *An introduction to color* (Nueva York: John Wiley & Sons).

FABRIS, S., y R. GERMANI. *Colore, disegno ed estetica nell'arte grafica* (Turín: SEI-CITS R/GEC). Traducción española, *Color, proyecto y estética en las artes gráficas* (Barcelona: Edebé, 1973).

FORSIUS, Sigfrid. 1611. *Physica*, manuscrito en la Biblioteca Real, Estocolmo. Publicado en *Acta Bibliothecae Stockholmiensis*, 1971.

GERRITSEN, Frans. 1975. *Het fenomeen kleur* (De Bilt, Holanda: Cantecleer). Trad. española por Eduardo Sans, *Color. Apariencia óptica, medio de expresión artística y fenómeno físico* (Barcelona: Blume, 1976).

———. 1989. "Color perception space 'Gerritsen' with the three component values and with the opponent values", en AIC 1989, vol. II, 153-155.

GOETHE, Johann Wolfgang von. 1808-1810. *Materialien zur Geschichte der Farbenlehre, Zur Farbenlehre*, 2 tomos (Tübingen: Cotta). Traducción española, *Teoría de los colores* (Buenos Aires: Poseidón, 1945).

GRASSMANN, Hermann Günter. 1853. "Zur Theorie der Farbenmischung", *Poggendorf Annalen der Physik und Chemie* **89**, 69-84. Traducción inglesa, "On the theory of compound colors", *Philosophical Magazine* **S.4, 7** (45), abril 1854, 254-264.

GREEN-ARMYTAGE, Paul. 1989. "Colour's third dimension", en AIC 1989, vol. II, 36-38.

HALE, William N. 1989. "Color order systems and color notations", en AIC 1989, vol. I, 43-51.

HÅRD, Anders, y Lars SIVIK. 1981. "NCS - Natural Color System: A Swedish standard for color notation", *Color Research and Application* **6** (3), 129-138.

HASEGAWA, T., y M. MURAKAMI. 1993. "Chromatic contrast data showing nonlinearity of the u'-v' diagram", en AIC 1993, vol. B, 19-23.

HERING, Ewald. 1878. *Zur Lehre vom Lichtsinne* (Viena: Carl Gerolds Sohn). Puede verse también la recopilación y traducción de Leo M. Hurvich y Dorothea Jameson, *Outlines of a theory of the light sense* (Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press, 1964).

HESSELGREN, Sven. 1953. *Colour atlas* (Estocolmo: T. Palmer).

——. 1967. *The language of architecture* (Lund, Suecia: Studentlitteratur). Traducción española por Miguel E. Hall, *El lenguaje de la arquitectura* (Buenos Aires: Eudeba, 1973).

——. 1984. "Why colour order systems?", *Color Research and Application* **9** (4), 220-228.

HICKETHIER, Alfred. 1952. *Farbenordnung Hickethier* (Hannover: Osterwald).

ITTEN, Johannes. 1961. *Kunst der Farbe* (Ravensburg, Alemania: Otto Maier Verlag). Versión inglesa condensada por Ernst van Hagen, *The elements of color*, ed. F. Birren (Nueva York: Van Nostrand Reinhold, 1970).

JACOBSON, Egbert. 1942. *The color harmony manual and how to use it* (Chicago: Container Corporation of America).

JACOBSON, Egbert, Walter C. GRANVILLE y Carl E. FOSS. 1948. *Color harmony manual* (Chicago: Container Corporation of America).

JAPAN COLOR RESEARCH INSTITUTE. 1975. *Harmonic color charts* (Tokyo).

KÜPPERS, Harald. 1978. *Farben atlas* (Colonia: Du Mont Buchverlag). Edición

española con traducción de Félix de la Fuente, *Atlas de los colores* (Barcelona: Blume, 1979).

LAMBERT, Johann Heinrich. 1772. *Beschreibung einer mit dem Calauschen Wachse ausgemalten Farbenpyramide* (Berlín: Hande and Spener).

LEONARDO DA VINCI. i.1490-1516. *Trattata della pittura*, basado en el Codice Vaticano Urbinate 1720 (Roma: Unione Cooperative Editrice, 1890). Versión española por Mario Pittaluga, *Tratado de la pintura* (Buenos Aires: Losada, 1943).

LOZANO, Roberto Daniel. 1978. *El color y su medición* (Buenos Aires: Américalee).

MacADAM, David L. 1942. "Visual sensitivities to color differences in daylight", *Journal of the Optical Society of America* **32**, 247-274.

——. 1944. "On the geometry of color space", *J. Franklin Institut* **238**, 195-210.

MAXWELL, James Clerk. 1860. "On the theory of compound colours, and the relations of the colours of the spectrum", *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* **150** (part I), 57-84.

MÜLLER, Aemilius. 1965. *Swiss colour atlas 2541* (Winterthur, Suiza: Chromos Verlag).

MUNSELL, Albert H. 1905. *A color notation*, 1ra-4ta ed. (Boston: Ellis), 5ta ed. en adelante (Baltimore, Maryland: Munsell Color Company, 1946).

——. 1921. *A grammar of color* (Mittineague, Massachusetts: Strathmore Paper Company).

NEMCSICS, Antal. 1980. "The Coloroid color system", *Color Research and Application* **5** (2), 113-120.

——. 1987. "Color space of the Coloroid color system", *Color Research and Application* **12** (3), 135-146.

——. 1988. *Coloroid colour atlas* (Budapest: Innofinance).

——. 1990. *Színdinamika* (Budapest: Akadémiai Kiadó). Traducción inglesa por G. Nagy, *Colour dynamics* (Budapest: Akadémiai Kiadó, 1993).

——. 1993. "Colour and order", en AIC 1993, vol. A, 117-128.

——. 1993a. "Munsell to Coloroid transformation", en AIC 1993, vol. B, 209-217.

NEWTON, Isaac. 1704. *Opticks: or, a treatise of the reflexions, refractions, inflexions and colours of light* (Londres: Smith and Walford). Reedición basada en la 4ta ed. de 1730 (Nueva York: Dover Publications, 1952). Hay edición española traducida por Carlos Solís, *Óptica o tratado de las reflexiones, refracciones, inflexiones y colores de la luz* (Madrid: Alfaguara, 1977).

OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, COMMITTEE ON COLORIMETRY. 1953. *The science of color* (Nueva York: Crowell).

OSTWALD, Wilhelm. 1917. *Der Farbatlas* (Leipzig: Unesma).

PARKHURST, Charles, y Robert L. FELLER. 1982. "Who invented the color wheel?", *Color Research and Application* **7** (3), 217-230.

POINTER, M. R. 1981. "A comparison of the CIE 1976 colour spaces", *Color Research and Application* **6** (2), 108-118.

POPE, Arthur. 1929. *An introduction to the language of drawing and painting* (Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press).

——. 1949. *The language of drawing and painting* (Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press).

——, Howard T. FISHER y James M. CARPENTER. 1974. *Color in art* (Cambridge, Massachusetts: Fogg Art Museum, Harvard University).

RICHTER, Klaus. 1993. "Chromaticity diagrams, blackness and whiteness", en CIE 1993, 79-84ss.

RICHTER, Manfred. 1952. "Das System der DIN-Farbenkarte", *Die Farbe* **1**, 85-98.

——. 1955. "The official German standard color chart", *Journal of the Optical Society of America* **45**, 223-226.

——, y Klaus WITT. 1986. "The story of the DIN color system", *Color Research and Application* **11**, 138-145.

ROBERTSON, Alan. 1993. "Principles of colour order systems", en AIC 1993, vol. A, 149-153.

——. 1993a. "Overview of sixty years of CIE colorimetry", en CIE 1993, 3-6.

——. 1993b. "Review of experiments leading to and properties of the 1931 and 1964 standard observer", en CIE 1993, 46-47.

ROSS, Denman Waldo. 1912. *On drawing and painting* (Boston: Houghton Mifflin).

RUNGE, Philipp Otto. 1810. *Die Farbenkugel, oder Konstruktion des Verhältnisses aller Mischung der Farben zu einander, und ihred vollständiger Affinität* (Hamburgo: F. Perthes).

SIVIK, Lars. 1993. "Systems for descriptive colour notations - implications of definitions and methodology", en AIC 1993, vol. A, 89-94.

SPILLMANN, Werner. 1985. "Color order systems and architectural color design", *Color Research and Application* **10** (1), 5-11.

——. 1993. "Philipp Otto Runge - ancestor of 20th century colour order systems", en AIC 1993, vol. C, 60-64.

SWEDISH STANDARDS INSTITUTION. 1979. *NCS colour atlas*, Swedish Standard SS 01 91 02 (Estocolmo: SIS).

TONNQUIST, Gunnar. 1989. "Colour order systems and colour atlases", en AIC 1989, vol. II, 162- 165.

——. 1993. "25 years of colour with the AIC —and 25000 without", *Color Research and Application* **18** (5), octubre, 353-365.

——. 1993a. "Reference points in colour systems", en AIC 1993, vol. C, 65-68.

TURNER LUKE, Joy. 1976. "Toward a new viewpoint for the artist", *Color Research and Application* **1** (1), 23-36.

VILLALOBOS-DOMÍNGUEZ, C., y Julio VILLALOBOS. 1947. *Atlas de los colores* (Buenos Aires: El Ateneo).

WALRAVEN, Pieter L. 1993. "Towards a fundamental CIE standard observer", en CIE 1993, 55-57.

WRIGHT, William David. 1981. "50 years of the 1931 CIE standard observer for colorimetry", *Die Farbe* **29**, 251-272.

——. 1982. "Experimental origins of the 1931 CIE system of colorimetry", *Journal of Coatings Technology* **54**, 65-71.

——. 1982a. "The golden jubilee of colour in the CIE 1931-1981", *Color Research and Application* **7**, 12-15.

Indice de nombres y materias

Publicaciones de la SICyT*

Serie Difusión

(ISSN 0328-2252), serie monográfica.

Nº 1. *El proceso de la ciencia. Una breve introducción a la investigación científica*, por Juan Samaja, $ 8.

Nº 2. *El aporte de la informática en la arquitectura, el diseño y el urbanismo*, por María A. Igarzábal de Nístal, Arturo Montagu y Mario Mariño, $ 10.

Nº 3. *El mapa social de Buenos Aires*, por Horacio Torres, $ 8.

Nº 4. *Sol y viento: De la investigación al diseño*, por Analía Fernández y Silvia de Schiller, $ 8.

Nº 5. *El dibujo objetual*, por Roberto Doberti y Liliana Giordano, $ 8.

Nº 6. *Usuarios, técnicos y municipios en la rehabilitación del hábitat. Administración y mantenimiento de conjuntos habitacionales*, por Renée Dunowicz, Alicia Gerscovich y Teresa Boselli, $ 8.

Nº 7. *El proyecto de puente Buenos Aires-Colonia*, por Odilia Suárez, $ 10.

Nº 8. *La formación de los arquitectos*, por Alvaro San Sebastián, $ 8.

Nº 9. *Planificación y medio ambiente. El caso de San Martín de los Andes*, por David Kullock, con la colaboración de Claudio Daniele y Delia Krupnik, $ 8.

Nº 10. *El diálogo de las antípodas: Los CIAM y América latina*, por Anahi Ballent, $ 10.

Nº 11. *Mega-ciudad Buenos Aires: ¿Profundización de la segmentación?*, por Luis Ainstein, $ 8.

** Publicaciones de la Secretaría de Investigaciones en Ciencia y Técnica (SICyT), de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo (FADU), de la Universidad de Buenos Aires (UBA).*

Ciudad Universitaria
Pabellón 3, 4º piso,
1428 Buenos Aires, Argentina.
Tel. (54-1) 782-8203/8909/8411/8881 int. 128,
Fax (54-1) 782-8871.
E-mail (J. L. Caivano, editor): postmaster@semvis.fadu.uba.ar

Revista AREA

AREA, agenda de reflexión en arquitectura, diseño y urbanismo (ISSN 0328-1337), revista internacional bilingüe (español-inglés) de publicación semestral. Precio por ejemplar $ 10, suscripción anual (2 números) $ 20.

Otras publicaciones

Investigaciones de Becarios UBA en la FADU, 1994 (ISBN 950-29-0181-9). Precio: $ 8.

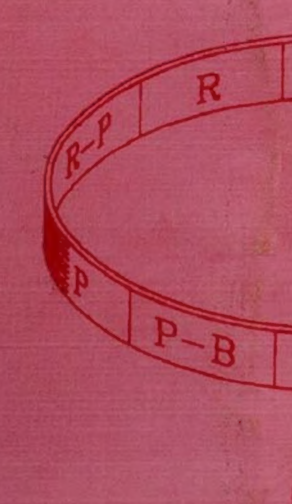
La SICyT reflexiona sobre la ciudad. Serie Documentos de Trabajo Nº 1. Precio: $ 5.

Impreso en Argentina

Se terminó de imprimir
en Saxon Impresores

Noviembre de 1995

José Luis Caivano *es arquitecto, investigador de la Secretaría de Investigaciones en Ciencia y Técnica de la FADU-UBA y del Laboratorio de Investigaciones Visuales del CONICET. Fue becario de perfeccionamiento de la UBA, luego del CONICET, y actualmente cuenta con una beca postdoctoral de este organismo. Ha sido asimismo investigador asociado en el Research Center for Language and Semiotic Studies de la Universidad de Indiana, Estados Unidos. Desde 1994 ocupa la presidencia del Grupo Argentino del Color, siendo además miembro de la International Association for Semiotic Studies, International Association for the Semiotics of Space, Association Internationale de Sémiologie de l'Image, Semiotic Society of America, Society for Computational Modelling of Creative Processes y Asociación Argentina de Semiótica. Es miembro de los grupos de estudio sobre Ilusiones Visuales y sobre el Color en el Diseño Ambiental, de la Association Internationale de la Couleur. Ha presentado trabajos en congresos nacionales e internacionales y dictado conferencias y cursos de posgrado en varias instituciones y universidades argentinas. Ha publicado el libro* Guía para realizar, escribir y publicar trabajos de investigación, *y más de treinta artículos en actas de congresos y en revistas nacionales e internacionales, entre ellas:* Color Research and Application *(publicada en Nueva York por John Wiley & Sons),* Die Farbe *(publicada en Alemania),* Languages of Design *(editada en los Estados Unidos y publicada en Amsterdam por Elsevier Science),* Leonardo *(publicada por el MIT Press),* Semiotica *(editada en los Estados Unidos y publicada en Berlín por Mouton de Gruyter),* Cruzeiro Semiotico *(órgano de la Asociación Portuguesa de Semiótica). Es editor de la revista* AREA *(agenda de reflexión en arquitectura, diseño y urbanismo), de la* Serie Difusión *y de* Investigaciones de Becarios UBA en la FADU, *publicaciones de la Secretaría de Investigaciones en Ciencia y Técnica de la FADU-UBA. Además, es el editor principal de las Actas de los Congresos Argentinos sobre el Color —que con el título* ArgenColor *(seguido del año correspondiente) reúne los trabajos presentados cada dos años en dichos congresos— y forma parte del comité editorial de la revista* Languages of Design.



Edición:
Secretaría de Investigaciones en Ciencia y Técnica